



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI UDARA DENGAN TEKNIK ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)

Della Maily Rahmadhita Rustanto
NRP 07111440000189

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Danar Fahmi, ST.,MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI UDARA DENGAN TEKNIK ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)

Della Maidy Rahmadhita Rustanto
NRP 07111440000189

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Daniar Fahmi, ST.,MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

PARTIAL DISCHARGE DETECTION ON AIR INSULATION WITH ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF) TECHNIQUE

Della Maily Rahmadhita Rustanto
NRP 07111440000189

Supervisors

Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Danar Fahmi, ST.,MT

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul "**DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI UDARA DENGAN TEKNIK ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Della Maidy R.R.
07111440000189

DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI UDARA DENGAN TEKNIK ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc.
NIP. 19700712 1990021 001

Daniar Fahmi, ST., MT.
NIP. 19890925 201404 1 002



DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI UDARA DENGAN TEKNIK ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)

Nama mahasiswa : Della Maidy Rahmadhita Rustanto
Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Dosen Pembimbing II : Daniar Fahmi, ST., MT.

Abstrak:

Partial discharge (PD) atau peluahan sebagian termasuk dalam fenomena *pre-breakdown voltage*, yaitu peristiwa peluahan atau pelepasan muatan listrik yang terjadi pada sebagian atau seluruh bagian bahan isolasi. Aktivitas *partial discharge* ini menghasilkan sinyal elektromagnetik yang mengandung frekuensi ultra tinggi (UHF). Keberadaan sinyal/gelombang *partial discharge* ini dapat terdeteksi oleh antenna yang memiliki kemampuan dapat menangkap sinyal/gelombang pada frekuensi ultra tinggi.

Hasil yang diperoleh adalah diameter dan jarak elektroda mempengaruhi besar tegangan *breakdwn*. Adanya perubahan tegangan pada saat *partial discharge* hingga *breakdown voltage* yang semakin tinggi ini menghasilkan frekuensi ultra tinggi yang pada pengujian ini keberadaanya berhasil terdeteksi dengan antenna dilihat dari perubahan bentuk sinyal frekuensi dan spektrum warna yang terjadi.

Kata kunci: diameter, isolasi udara, jarak, *partial discharge*, teknik UHF



Halaman ini sengaja dikosongkan

PARTIAL DISCHARGE DETECTION ON AIR INSULATION WITH ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF) TECHNIQUE

Student Name : Della Maidy Rahmadhita Rustanto
Supervisor I : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Supervisor II : Daniar Fahmi, ST., MT.

Abstract:

Partial discharge (PD) is a phenomenon of pre-breakdown voltage, such as discharging occurrence of electrical capacity in partial or entire insulating material. This partial discharge activity produces electromagnetic signals that contains ultra high frequencies (UHF). The presence of these partial discharge signals/waves can be detected by antennas that capable of capturing signals/waves at ultra high frequencies.

The results shows that the diameter and distance of the electrode affected the breakdwon voltage. The existence of increasing voltage alteration at the time of partial discharge until breakdown shows that it produces ultra high frequency. In this test, ultra high frequency is successfully detected with the antenna. The detection is seen by the significant changes of frequency signal form and occurrence of color spectrum.

Key Word: *Air insulation, diameter, distance, partial discharge, UHF technique*



Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“DETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI UDARA DENGAN TEKNIK ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Bunda, Papah, Teh Ea, Teh Ein, Kak Andy atas doa, cinta, dan motivasi yang tiada terkira pada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surgaNya.
3. Bapak I Made Yulistya Negara dan Bapak Daniar Fahmi selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
5. Teman-teman seperjuangan laboratorium tegangan tinggi, e54, dan lainnya yang telah menemani dan memberikan dukungan selama masa kuliah sampai penyusunan tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat yang luas.

Surabaya, Juli 2018

Penulis



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
1.7 Relevansi.....	5
BAB II BAHAN ISOLASI UDARA DAN FENOMENA <i>PRE-BREAKDOWN</i>.....	7
2.1 Isolasi Gas	7
2.2 Pengaruh Kekasaran Elektroda pada Kegagalan	7
2.3 Kegagalan pada Medan Tak-Seragam	8
2.4 Jenis-Jenis Isolasi Gas	9
2.4.1 Udara.....	9
2.5 Fenomena <i>Pre-Breakdown Voltage</i>	11
2.6 Frekuensi Radio UHF	12
2.7 Antena	13
BAB III ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA.....	15
3.1 Alat Pengujian	15
3.1.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	16
3.1.2 Elektroda Uji	17
3.1.3 Peralatan Akuisi Data.....	19
3.2 Pengambilan Data	20
3.2.1 Akuisisi Data.....	20
BAB IV ANALISIS DETEKSI <i>PARTIAL DISCHARGE</i> PADA ISOLASI UDARA DENGAN METODE UHF	25
4.1 Fenomena <i>Partial Discharge</i> pada Isolasi Udara.....	25
4.2 Pengaruh Diameter Terhadap Jarak Elektroda Jarum Tembaga Terhadap Deteksi <i>Partial Discharge</i>	26
4.2.1 Elektroda Jarum Tembaga dengan Diameter 2mm	27

4.2.2 Elektroda Jarum Tembaga dengan Diameter 5mm.....	28
4.2.3 Elektroda Jarum Tembaga dengan Diameter 6mm.....	30
4.3 Pengaruh Diameter Terhadap Jarak Elektroda Jarum <i>Stainless Steel</i> Terhadap Deteksi <i>Partial Discharge</i>	31
4.3.1 Elektroda Jarum <i>Stainless Steel</i> dengan Diameter 1mm	32
4.3.2 Elektroda Jarum <i>Stainless Steel</i> dengan Diameter 2mm	33
4.3.3 Elektroda Jarum <i>Stainless Steel</i> dengan Diameter 6mm.....	35
4.4 Perbandingan Bahan Pembentuk Elektroda Jarum Terhadap Deteksi <i>Partial Discharge</i>	36
4.5 Perbandingan Jarak Terhadap Diameter Elektroda Jarum Tembaga dan <i>Stainless Steel</i> Terhadap Deteksi <i>Partial Discharge</i>	37
4.6 Sinkronisasi Hasil Pengambilan Data dengan Antena dan Data Arus	40
4.7 Sinkronisasi Hasil Pengambilan Data Sinyal Frekuensi dengan Spektrum Warna	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN.....	59
BIODATA PENULIS.....	69



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pengaruh kekasaran permukaan elektroda terhadap peningkatan medan [1]	8
Gambar 2. 2 Tegangan gagal dengan berbagai tingkat ketidakseragaman medan	9
Gambar 3. 1 <i>Skema rangkaian alat pengujian</i>	15
Gambar 3. 2 <i>Rangkaian alat pengujian yang digunakan</i>	16
Gambar 3. 3 Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC	17
Gambar 3. 4 Elektroda-elektroda yang digunakan dalam pengujian ...	18
Gambar 3. 5 NI 9246	20
Gambar 3. 6 Diagram blok interface SDR	22
Gambar 3. 7 Antena dan dongle RTL-SDR	23
Gambar 3. 8 Tampilan program SDRSharp	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 1 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga berdiameter 2mm	28
Gambar 4. 2 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga berdiameter 5mm	29
Gambar 4. 3 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga berdiameter 6mm	31
Gambar 4. 4 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda <i>stainless steel</i> berdiameter 1mm	33
Gambar 4. 5 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda <i>stainless steel</i> berdiameter 2mm	34
Gambar 4. 6 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda <i>stainless steel</i> berdiameter 6mm	36
Gambar 4. 7 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga dengan jarak 1cm	37
Gambar 4. 8 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga dengan jarak 1,5cm	38
Gambar 4. 9 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga dengan jarak 2cm	38
Gambar 4. 10 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda <i>stainless steel</i> dengan jarak 1cm	39
Gambar 4. 11 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda <i>stainless steel</i> dengan jarak 1,5cm	39

Gambar 4. 12 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda <i>stainless steel</i> dengan jarak 2cm.....	40
Gambar 4. 13 Arus bocor pada elektroda jarum tembaga diameter 2mm	41
Gambar 4. 14 Arus bocor pada elektroda jarum tembaga diameter 5mm	41
Gambar 4. 15 Arus bocor pada elektroda jarum tembaga diameter 6mm	42
Gambar 4. 16 Arus bocor pada elektroda jarum <i>stainless steel</i> diameter 1mm	42
Gambar 4. 17 Perbesaran dari arus bocor pada elektroda jarum <i>stainless steel</i> diameter 1mm	43
Gambar 4. 18 Arus bocor pada elektroda jarum <i>stainless steel</i> jarum diameter 2mm	43
Gambar 4. 19 Arus bocor pada elektroda jarum <i>stainless steel</i> jarum diameter 6mm	44
Gambar 4. 20 Standart perubahan kondisi sinyal dengan spektrum.....	45
Gambar 4. 21 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 2mm dan jarak 1cm pada saat kondisi normal hingga <i>breakdown</i>	45
Gambar 4. 22 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 2mm dan jarak 1,5cm pada saat kondisi <i>inception voltage</i> hingga <i>breakdown</i>	46
Gambar 4. 23 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 2mm dan jarak 2cm pada saat kondisi <i>inception voltage</i>	46
Gambar 4. 24 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 5mm dan jarak 1cm pada saat kondisi normal hingga <i>inception voltage</i>	47
Gambar 4. 25 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 5mm dan jarak 1,5cm pada saat kondisi normal hingga <i>inception voltage</i>	47
Gambar 4. 26 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 5mm dan jarak 2cm pada saat kondisi normal hingga <i>inception voltage</i>	48

Gambar 4. 27 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 6mm dan jarak 1cm pada saat kondisi normal hingga <i>breakdown</i> .	48
Gambar 4. 28 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 6mm dan jarak 1,5cm pada saat kondisi <i>inception voltage</i> .	49
Gambar 4. 29 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 6mm dan jarak 2cm pada saat kondisi <i>inception voltage</i> .	49
Gambar 4. 30 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum <i>stainless steel</i> berdiameter 1mm dan jarak 1cm pada saat kondisi <i>inception voltage</i> hingga 1 sekon sebelum <i>breakdown</i> .	50
Gambar 4. 31 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum <i>stainless steel</i> berdiameter 1mm dan jarak 1,5cm pada saat kondisi normal hingga <i>inception voltage</i> .	50
Gambar 4. 32 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum <i>stainless steel</i> berdiameter 1mm dan jarak 2cm pada saat kondisi normal hingga <i>inception voltage</i> .	51
Gambar 4. 33 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum <i>stainless steel</i> berdiameter 2mm dan jarak 1cm pada saat kondisi normal hingga <i>inception voltage</i> .	51
Gambar 4. 34 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum <i>stainless steel</i> berdiameter 2mm dan jarak 1,5cm pada saat kondisi <i>inception voltage</i> hingga <i>breakdown</i> .	52
Gambar 4. 35 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum <i>stainless steel</i> berdiameter 2mm dan jarak 2cm pada saat kondisi normal hingga <i>inception voltage</i> .	52
Gambar 4. 36 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum <i>stainless steel</i> berdiameter 6mm dan jarak 1cm pada saat kondisi <i>inception voltage</i> hingga <i>breakdown</i> .	53
Gambar 4. 37 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum <i>stainless steel</i> berdiameter 6mm dan jarak 1,5cm pada saat kondisi normal hingga <i>inception voltage</i> .	53
Gambar 4. 38 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum <i>stainless steel</i> berdiameter 6mm dan jarak 2cm pada saat kondisi normal hingga 1 sekon sebelum <i>breakdown</i> .	54



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan besar tegangan tembus udara dengan unsur gas lainnya.....	10
Tabel 2. 2 Frekuensi radio.....	13
Tabel 3. 1 Spesifikasi peralatan rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC.....	17
Tabel 3. 2 Spesifikasi Current Transformer (CT).....	19
Tabel 3. 3 Spesifikasi interface SDR.....	22
Tabel 4. 1 Data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga berdiameter 2mm.....	27
Tabel 4. 2 Data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga berdiameter 5mm.....	29
Tabel 4. 3 Data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga berdiameter 6mm.....	30
Tabel 4. 4 Data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda <i>stainless steel</i> berdiameter 1mm.....	32
Tabel 4. 5 Data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda <i>stainless steel</i> berdiameter 2mm.....	34
Tabel 4. 6 Data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda <i>stainless steel</i> berdiameter 6mm.....	35



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena *pre-breakdown voltage* adalah suatu fenomena yang menandai bahwa akan terjadinya proses kegagalan pada suatu bahan isolasi. Contoh fenomena *pre-breakdown voltage* adalah *partial discharge* (PD) atau peluahan sebagian, yaitu peristiwa peluahan atau pelepasan muatan listrik yang terjadi pada sebagian atau seluruh bagian bahan isolasi dengan tidak sampai menghubungkan kedua elektroda[1]. Jika peristiwa itu terjadi maka dapat menyebabkan menurunnya kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi yang secara bertahap pada jangka panjang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan tegangan tinggi[2]. Ketidakseragaman medan menjadi salah satu faktor penting yang menyebabkan *partial discharge* mudah terjadi. Ketidakseragaman medan ini disebabkan oleh adanya bidang yang tidak seragam[3]. Karena pada kenyataannya jarang sekali menemukan bidang permukaan konduktor, kabel, ataupun peralatan listrik lain yang memiliki tingkat kerataan dan kehalusan yang absolut. Fenomena *pre-breakdown voltage* dan *partial discharge* selalu berkaitan dengan kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi, hal ini penting untuk diketahui karena dapat menentukan kualitas dari suatu bahan isolasi

Isolasi merupakan suatu media yang digunakan untuk memisahkan dua atau lebih bagian yang bertegangan. Terdapat tiga jenis bahan isolasi, yaitu bahan isolasi gas, cair, dan padat. Pada bahan isolasi gas, ada beberapa jenis gas yang biasanya paling sering dan banyak digunakan sebagai bahan isolasi, diantaranya yaitu gas SF₆, hidrogen, dan udara. Udara pada keadaan normal (udara yang ideal) dapat bekerja sebagai isolator yang sempurna karena sifatnya yang sederhana, mudah didapat karena terdapat dimana saja, dan mampu memenuhi ruang. Udara mampu bekerja menjadi bahan isolasi yang baik pada tekanan yang tidak terlalu tinggi, dan juga sering digunakan sebagai pendingin peralatan. Pemilihan penggunaan bahan isolasi biasanya lebih mempertimbangkan pada keandalan dan biaya operasional dari bahan isolasi itu sendiri. Maka dari itu, udara sebagai bahan isolasi yang banyak digunakan pada peralatan-peralatan tegangan tinggi misalnya yang terdapat pada jaringan tegangan rendah, jaringan tegangan menengah, dan jaringan tegangan tinggi.

Pada dasarnya, suatu bahan isolasi secara bertahap akan mengalami penurunan kekuatan dielektrik. Penurunan kekuatan dielektrik ini salah satunya dapat disebabkan oleh adanya aktivitas *partial discharge* atau peluahan sebagian. Sehingga dapat dikatakan bahwa *partial discharge* dapat dijadikan sebagai salah satu indikator menurunnya kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi. Dengan menurunnya kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi, maka akan mempengaruhi kinerja peralatan yang menggunakan bahan isolasi tersebut [2]. Untuk itu, perlu dilakukannya pemeliharaan pada peralatan sistem tenaga, salah satu cara pemeliharaan yang dilakukan yaitu dengan melakukan pengecekan pada bagian isolasi yang digunakan secara berkala. Pengecekan pada bagian isolasi ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan mendeteksi aktivitas *partial discharge*. Aktivitas dari *partial discharge* ini menghasilkan sinyal elektromagnetik yang mengandung frekuensi ultra tinggi (UHF). Keberadaan sinyal/gelombang berfrekuensi ultra tinggi ini dapat terdeteksi/tertangkap dengan menggunakan sebuah alat khusus, yaitu antena dengan kemampuan dapat menangkap sinyal/gelombang berfrekuensi ultra tinggi [3] [4]. Metode UHF memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap aktivitas *partial discharge* [5] [6].

Pada penelitian ini, pengujian untuk mengetahui karakteristik sinyal/gelombang *partial discharge* pada isolasi udara dilakukan pada skala laboratorium dengan menggunakan teknik *Ultra High Frequency* (UHF). Dalam hal pengujian ini, jenis elektroda yang paling sering digunakan adalah kombinasi elektroda berbentuk jarum dan plat. Kombinasi elektroda ini digunakan karena perbedaan bidangnya yang mencolok. Bidang yang tidak seragam ini menyebabkan ketidakseragaman persebaran medan yang tinggi sehingga adanya aktivitas *partial discharge* lebih mudah terdeteksi [7].

Secara garis besar, pengujian dilakukan dengan menggunakan modul pembangkitan tegangan tinggi AC dan dengan menggunakan elektroda jarum-plat dengan memvariasikan diameter elektroda jarum dan memvariasikan jarak antara elektroda jarum dengan plat, serta digunakan antena untuk menangkap sinyal/gelombang frekuensi hasil dari aktivitas *partial discharge*.

Hasil yang diharapkan adalah mengetahui karakteristik bentuk sinyal/gelombang *partial discharge* pada bahan isolasi udara. Dengan metode ini, diharapkan dapat membantu dalam mengetahui dan memahami karakteristik sinyal/gelombang *partial discharge* pada isolasi gas jenis udara, sehingga dapat memudahkan kegiatan pemeliharaan

peralatan sistem tenaga melalui pemantauan ketahanan bahan isolasi yang digunakan dan dapat mengantisipasi rusaknya peralatan yang disebabkan oleh ketidaktahanan bahan isolasi maupun pemilihan bahan isolasi dengan rating/standar kekuatan yang kurang tepat.

1.2 Permasalahan

Beberapa permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini yaitu bagaimana susunan rangkaian dan peralatan yang dapat digunakan untuk menangkap sinyal frekuensi *partial discharge*, bagaimana cara mendeteksi aktivitas *partial discharge* dengan menggunakan antenna, bagaimana karakteristik *partial discharge* pada isolasi udara, dan bagaimana karakteristik bentuk sinyal/gelombang frekuensi yang terbentuk ketika aktivitas *partial discharge* terdeteksi.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu terbentuknya serangkaian alat yang dapat digunakan untuk menangkap sinyal frekuensi UHF dari *partial discharge* dengan menggunakan antenna, dapat mengetahui cara mendeteksi sinyal frekuensi *partial discharge* dengan benar, dan dapat mengetahui karakteristik dari *partial discharge* pada isolasi udara ditinjau dari bentuk sinyal/gelombang frekuensi yang terbentuk ketika aktivitas *partial discharge* terdeteksi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan untuk penelitian ini antara lain:

1. Aktivitas serta karakteristik sinyal/gelombang *partial discharge* yang diteliti hanya pada media isolasi udara dengan mengabaikan suhu ruangan.
2. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan tinggi AC dan dengan mengkombinasikan pemakaian antara elektroda datar dengan elektroda jarum.
3. Menggunakan satu buah elektroda datar/plat berbahan tembaga dan enam buah elektroda jarum dengan memvariasikan ukuran diameter dan bahan pembentuknya, serta memvariasikan jarak antara elektroda datar dengan elektroda jarum. Variasi elektroda jarum terdiri dari elektroda jarum berbahan tembaga dengan diameter permukaan ujung jarum 2mm, 5mm, dan 6mm, dan elektroda jarum berbahan *stainless steel* dengan diameter permukaan ujung jarum 1mm, 2mm, dan 6mm. Untuk jarak

antara elektroda datar dengan jarum divariasikan sebesar 1cm, 1,5cm, dan 2cm.

4. Data yang digunakan adalah data yang didapat dari hasil pengujian yang telah peneliti lakukan sendiri.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi pustaka. Studi pustaka yang dilakukan yaitu mengenai *partial discharge* secara umum dan secara khusus pada media isolasi udara, karakteristik umum *partial discharge* pada frekuensi ultra tinggi, antenna beserta perangkat lunak SDRSharp, dan NI 9246 beserta perangkat lunak LabVIEW dan DIAdem.
2. Mempersiapkan rangkaian peralatan pengujian. Modul pembangkitan tegangan tinggi AC, elektroda jarum-plat, antenna, CT, NI 9246, dan laptop serta PC yang masing masing telah terdapat perangkat lunak SDRSharp dan LABView.
3. Pengujian dan pengambilan data. Pada tahap ini dilakukan pengujian dengan cara membangkitkan modul tegangan tinggi AC yang telah disambungkan dengan sebuah tempat khusus untuk memposisikan elektroda jarum-plat sedemikian rupa, pemasangan kabel *ground* tambahan pada badan tempat untuk memposisikan elektroda, pemasangan antenna yang berjarak sekitar 10cm dari elektroda uji, dan pemasangan CT pada kabel *ground* yang tersambung dengan elektroda. CT ini tersambung dengan NI 9246 yang juga tersambung pada PC yang sudah dilengkapi dengan perangkat lunak LABView. Selanjutnya, tegangan tinggi AC dibangkitkan hingga mencapai voltase tertentu dimana aktivitas *partial discharge* mulai terjadi (terdengar bunyi desis), kemudian dilakukan pembacaan sinyal frekuensi dengan menggunakan antenna yang sudah dilengkapi dengan sebuah *receiver* yang tersambung dengan laptop yang sudah dilengkapi dengan perangkat lunak SDRSharp. Kemudian sinyal/gelombang frekuensi tersebut akan dianalisis lebih lanjut untuk dilihat bentuk dan karakteristiknya berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, lalu akan disimpulkan dan dikorelasikan dengan teori yang ada.
4. Pengolahan dan analisis data. Pada tahap ini, data hasil pengujian yang telah didapat akan diolah, kemudian dianalisis

hingga pada akhirnya didapatkan suatu hasil dan kesimpulan dari pengujian yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan laporan, dan relevansi.

Bab 2 : Kajian Pustaka

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang digunakan sebagai penunjang penyusunan penelitian ini, secara garis besar berisi penjelasan mengenai fenomena *partial discharge* pada isolasi udara serta pengaruh dari jarak, bentuk, dan bahan pembentuk elektroda yang digunakan.

Bab 3 : Metodologi penelitian

Bab ini membahas mengenai penjelasan dalam perancangan alat pengujian dan cara pengambilan serta pengolahan data.

Bab 4 : Hasil dan pembahasan

Bab ini berisi sajian data-data dalam bentuk tabel, grafik, dan gambar serta pembahasan mengenai proses pengolahan data yang kemudian dianalisis hingga didapatkan sebuah hasil mengenai karakter sinyal/gelombang *partial discharge* pada isolasi udara.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini.

1.7 Relevansi

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui karakteristik bentuk sinyal/gelombang pada frekuensi ultra tinggi dari aktivitas *partial discharge* pada isolasi udara, yang kemudian dapat digunakan sebagai acuan penentu keadaan dan kondisi ketahanan isolasi udara dengan karakteristik bentuk sinyal/gelombang *partial discharge* yang terjadi pada skala pengujian laboratorium. Harapannya metode ini dapat berguna untuk kedepannya pada kegiatan pemeliharaan peralatan sistem tenaga.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

BAHAN ISOLASI UDARA DAN FENOMENA *PRE-BREAKDOWN*

2.1 Isolasi Gas

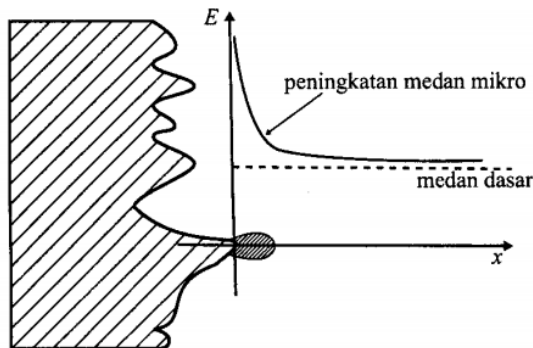
Secara umum gas digunakan sebagai media isolasi dan penghantar panas pada peralatan. Gas sebagai bahan isolasi memiliki tingkat kesensitivitasan yang tinggi pada ketidakstabilan temperature dan ketidaknormalan sifat dielektrik pada tekanan yang tinggi sehingga dalam pemilihan penggunaan jenis isolasi gas perlu diperhatikan sifat dari kedielektrikannya dan disesuaikan pada kondisi penggunaannya seperti temperatur dan tekanan dimana gas akan bekerja sebagai media isolasi pada suatu peralatan sistem tenaga. Beberapa sifat dari media isolasi gas yaitu:

1. Sifat kelistrikan, yang mencakup hal-hal sebagai berikut:
 - a. Tahanan isolasi
 - b. Faktor daya
 - c. Kekuatan dielektrik
 - d. Konstanta dielektrik
 - e. Rugi-rugi dielektrik
 2. Temperatur
 3. Sifat kimia
 4. Sifat mekanis, seperti hal-hal dibawah ini:
 - a. Kerapatan volume
 - b. Viskositas
 - c. Absorpsi kelembaman
- Tekanan permukaan, dan lainnya

2.2 Pengaruh Kekasaran Elektroda pada Kegagalan

[1]Kekasaran permukaan elektroda maupun konduktor sangat mempengaruhi proses kegagalan. Pada kenyataannya jarang sekali menemukan bidang permukaan konduktor, kabel, ataupun peralatan listrik lain yang memiliki tingkat kerataan dan kehalusan yang absolut. Pada permukaan yang sudah dipoles sekalipun masih memiliki tingkat kekasaran berkisar $3\mu\text{m}$ bahkan sampai $6\mu\text{m}$, tingkat kekasaran menyebabkan adanya peningkatan medan pada permukaan elektroda/konduktor yang mengakibatkan turunnya tegangan tembus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Pada bahan isolasi udara,

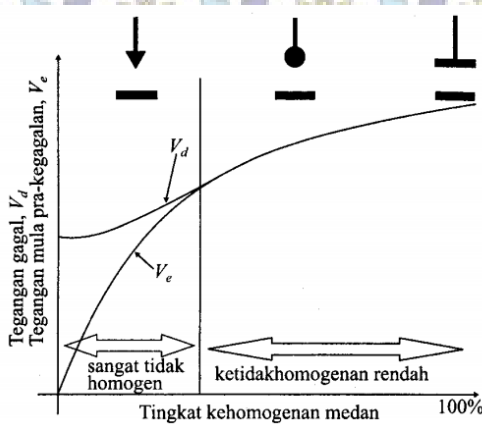
batas maksimum nilai medan mikroskopik di dekat elektroda/konduktor adalah sebesar 20-24 kV/cm atm.



Gambar 2. 1 Pengaruh kekasaran permukaan elektroda terhadap peningkatan medan [1]

2.3 Kegagalan pada Medan Tak-Seragam

Pada medan yang homogen, proses pra-peluahan (*voltage inception*) tidak terjadi, proses kegagalan langsung berada pada tahap kegagalan streamer. Hal ini dikarenakan proses pra-peluahan baru akan terjadi pada tingkat ketidakseragaman medan yang lebih tinggi yang kemudian akan berpengaruh pada tingkat tegangan gagal[8] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Pada tegangan yang lebih tinggi, proses pra-peluahan akan berkembang menjadi peluahan yang akhirnya menyebabkan gagal bekerjanya suatu isolasi.



Gambar 2. 2 Tegangan gagal dengan berbagai tingkat ketidakseragaman medan

2.4 Jenis-Jenis Isolasi Gas

Berdasarkan kekuatan dielektrik, rugi-rugi dielektrik, stabilitas kimia, dan lain-lain, gas sebagai bahan isolasi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok, diantaranya yaitu:

1. Gas sederhana, contohnya udara, nitrogen, helium, hidrogen, dan lain-lain.
2. Gas oksida, contohnya karbondioksida, sulfur dioksida, dan lain-lain.
3. Gas hidrokarbon, contohnya methana, ethana, propana, dan lain-lain.
4. Gas elektromagnetik, contohnya sulfur hexaflorida, CH_2Cl_2 , dan lain-lain.

2.4.1 Udara

Udara merupakan salah satu bahan isolasi gas yang digolongkan jenis gas sederhana. Dikatakan sederhana selain karena komposisinya juga karena jumlahnya yang tersebar di alam bebas sehingga mudah untuk didapatkan. Susunan udara di muka bumi ini terdiri dari 78% nitrogen, 20% oksigen, dan sisanya sekitar 2% terdiri dari bermacam-macam gas seperti argon, helium, karbondioksida, dan lainnya. Sebagian besar komposisi udara terdiri dari berbagai macam gas yang netral dan sebagian kecilnya berupa ion-ion dan elektron-elektron bebas. Oleh

karena itu, udara dapat mengalirkan arus walaupun dengan kapasitas yang kecil dan sedikit. Udara sebagai bahan isolasi memiliki tegangan tembus yang cukup besar, yaitu 20-24kV/cm, sehingga banyak digunakan pada peralatan tegangan tinggi misalnya pada arrester yang terpasang pada saluran transmisi atau pada *circuit breaker* sebagai media peredam busur api, dan juga banyak ditemui pada saluran listrik jaringan tegangan rendah (JTR), jaringan tegangan menengah (JTM), dan jaringan tegangan tinggi (JTT). Pada sistem jaringan tenaga listrik, udara biasanya digunakan sebagai bahan pendinginan dan sebagai bahan penyekat antar kawat konduktor maupun antar kawat konduktor dengan tanah. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat perbandingan besar tegangan tembus udara dengan unsur gas lainnya.

Udara memiliki beberapa sifat umum yang diantaranya memiliki massa atau berat, menempati ruang, mempunyai tekanan (menekan kesegala arah), akan memuai bila dipanaskan, akan menyusut bila didinginkan, serta bentuk, volume, dan massa jenis yang selalu berubah-ubah. Sifat-sifat udara sebagai bahan isolasi yaitu jika terdapat dua buah elektroda dipisahkan dengan udara dan masing-masing elektroda diberi besar tegangan berbeda yang melebihi kekuatan tegangan tembusnya maka akan timbul loncatan bunga api pada kedua elektroda. Jika tegangan semakin dinaikkan maka akan muncul busur api. Secara umum dapat dikatakan bahwa semua bahan isolasi akan mengalami pelepasan muatan apabila diberi tegangan yang melampaui kekuatan isolasinya, hal inilah yang disebut sebagai bentuk dari kegagalan listrik. Besarnya tegangan tembus udara dipengaruhi oleh besarnya tekanan, temperatur, dan medan di sekitar. Semakin besar tekanan udara maka semakin besar pula tegangan tembusnya. Berbeda halnya dengan temperatur, semakin tinggi temperatur udara, maka semakin kecil tegangan tembusnya. Prinsip sifat seperti inilah yang menjadi dasar digunakannya udara sebagai media isolasi jenis gas pada peralatan listrik sistem tenaga.

Tabel 2. 1 Perbandingan besar tegangan tembus udara dengan unsur gas lainnya.

Unsur Gas	Massa Jenis (Kg/m ³)	Tegangan Tembus (kV/cm)
Sulfur hexaflorida	6,139	75
Udara	1,228	30
Nitrogen	1,191	30
Karbondioksida	1,867	27
Hydrogen	0,086	18

2.5 Fenomena *Pre-Breakdown Voltage*

Fenomena *pre-breakdown voltage* adalah suatu fenomena yang menandai bahwa akan terjadinya proses kegagalan dari suatu bahan isolasi. Contoh fenomena *pre-breakdown voltage* adalah *partial discharge* (PD) atau peluahan sebagian, yaitu peristiwa peluahan atau pelepasan muatan listrik yang terjadi pada sebagian atau seluruh bagian bahan isolasi yang apabila terus menerus diberikan tegangan yang semakin tinggi dapat menyebabkan gagalnya suatu sistem isolasi serta menyebabkan terhubungnya dua buah konduktor atau lebih yang seharusnya tidak terhubung [1]. Hal utama yang menandai *pre-breakdown voltage* ataupun *partial discharge* yaitu peluahan yang terjadi tidak sampai menghubungkan kedua konduktor secara sempurna. Peristiwa tersebut dapat menyebabkan menurunnya kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi yang secara bertahap pada jangka panjang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan tegangan tinggi [2].

Bahan isolasi akan menunjukkan sifatnya bila dipengaruhi oleh medan listrik. Bahan isolasi akan mengalami pelepasan muatan yang merupakan bentuk kegagalan listrik apabila tegangan yang diterapkan melampaui kekuatan isolasinya. Karena pada kenyataannya udara yang sesungguhnya tidak hanya terdiri dari molekul-molekul netral saja tetapi ada sebagian kecil di dalamnya berupa ion-ion dan elektron-elektron yang bebas, yang akan mengakibatkan udara akan mengalirkan arus walaupun dalam kapasitas yang terbatas atau kecil. Jika gas dipanasi sampai suhu yang cukup tinggi, maka banyak atom netral yang akan memperoleh energi yang diperlukan untuk mengionisasikan atom-atom lain dengan cara terjadinya benturan. Selain suhu, jarak sela antar konduktor dan luas permukaan konduktor yang bertegangan juga akan menentukan laju pergerakan elektron dalam dielektrik udara.

Proses terjadinya *partial discharge* yaitu karena adanya ionisasi dalam udara, yaitu lepasnya elektron dan ion positif dari sebuah atom netral, elektron-elektron bebas ini dapat bergerak bebas dan cepat akibat adanya pengaruh medan listrik, akibatnya dapat terjadi benturan dengan atom atau molekul lain. Benturan ini terjadi terus menerus hingga akhirnya menghasilkan banjir elektron/*electron avalanche*. Selanjutnya elektron-elektron ini akan bergerak dari katoda menuju anoda. Pergerakan elektron inilah yang terlihat oleh mata sebagai korona.

Fenomena *partial discharge* termasuk bagian yang penting dalam bahasan tegangan tinggi terutama dalam bidang yang tidak seragam. Dalam pengujian/percobaan untuk mengidentifikasi *partial discharge*,

jenis elektroda yang paling sering digunakan adalah kombinasi elektroda berbentuk jarum dan plat. Kombinasi elektroda ini digunakan karena perbedaan bidangnya yang mencolok. Bidang yang tidak seragam ini menyebabkan ketidakseragaman persebaran medan yang tinggi [7].

2.6 Frekuensi Radio UHF

Adanya pergerakan medan akibat dikenai oleh tegangan yang tinggi menghasilkan suatu gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik ini berhubungan dengan frekuensi radio. Gelombang atau spektrum elektromagnetik adalah suatu rentang yang terdiri dari semua radiasi elektromagnetik yang ada pada gelombang frekuensi radio. Spektrum elektromagnetik ini dapat dihasilkan oleh antena yang dilewatkan/diberikan arus AC (bolak-balik). Frekuensi radio dapat digolongkan menjadi beberapa macam berdasarkan *range* frekuensinya yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

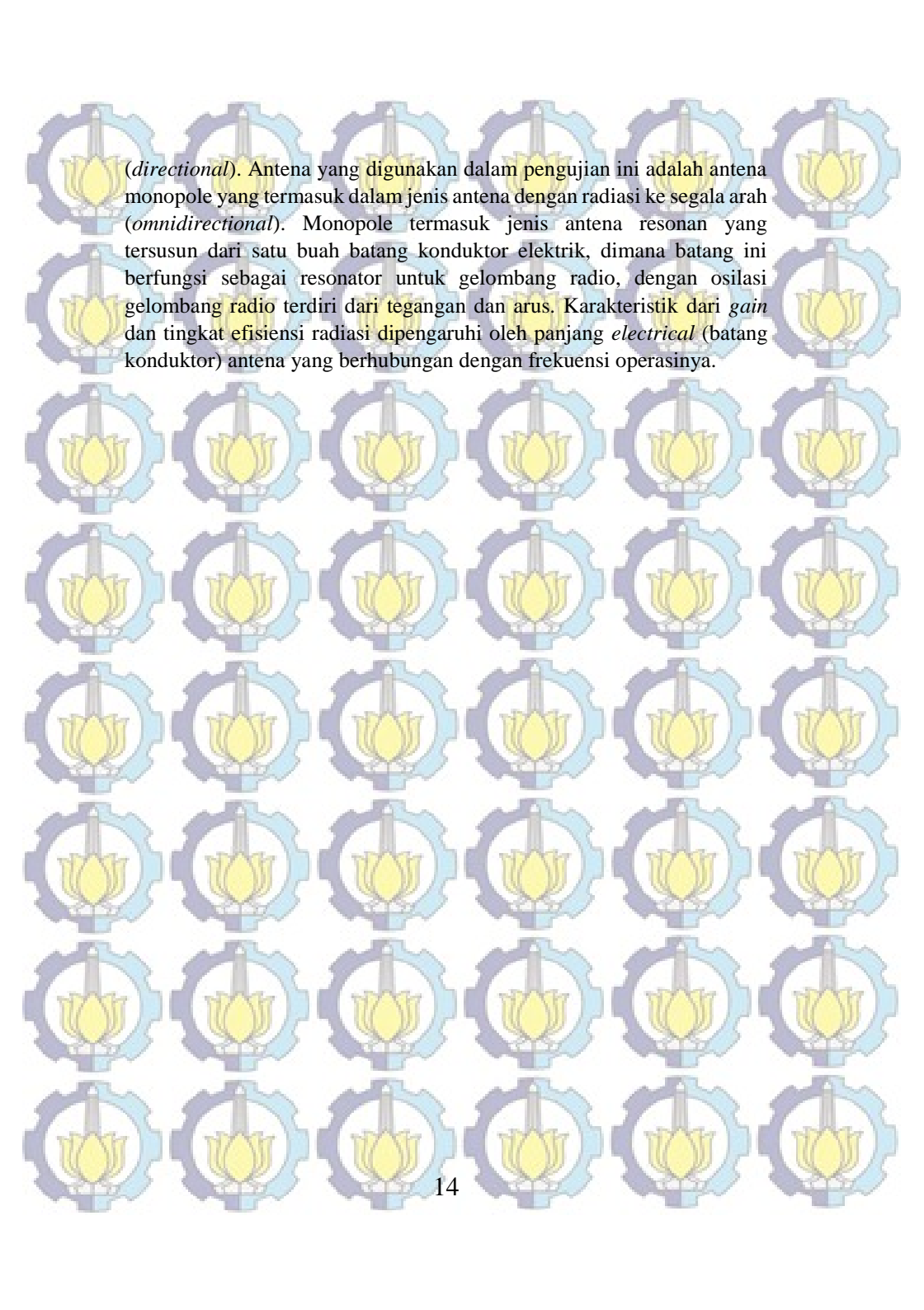
Frekuensi ultra tinggi atau UHF merupakan gelombang elektromagnetik dengan kisaran frekuensi 300 MHz sampai dengan 3000 MHz dengan panjang gelombang 10 sentimeter sampai 1 meter. Terjadinya PD selalu diikuti dengan munculnya frekuensi yang sangat tinggi (UHF) pada gelombang elektromagnetik hasil dari aktivitas PD tersebut. Frekuensi ultra tinggi itu dapat diamati karakteristiknya. Pendeteksian/pengukuran PD berdasarkan frekuensi ultra tinggi ini dapat dideteksi dengan menggunakan antena, ini merupakan salah satu dari sekian banyak metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi dan memantau adanya aktivitas PD. Antena yang digunakan harus dapat menangkap/membaca frekuensi ultra tinggi sesuai dengan keberadaan aktivitas PD, sehingga metode ini sering disebut dengan metode Ultra-High Frequency (UHF). Metode UHF memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap aktivitas PD [6].

Tabel 2. 2 Frekuensi radio

Frekuensi	Panjang Gelombang	Nama Band	Singkatan
3-30 Hz	10^4 - 10^5 km	Extremely low frequency	ELF
30-300 Hz	10^3 - 10^4 km	Super low frequency	SLF
300-3000 Hz	100 - 10^3 km	Ultra low frequency	ULF
3-30 kHz	10-100 km	Very low frequency	VLF
30-300 kHz	1-10 km	Low frequency	LF
300 kHz-3 MHz	100 m-1 km	Medium frequency	MF
3-30 MHz	10-100 m	High frequency	HF
30-300 MHz	1-10 m	Very high frequency	VHF
300 MHz-3 GHz	10 cm-1m	Ultra high frequency	UHF
3-30 GHz	1-10 cm	Super high frequency	SHF
30-300 GHz	1 mm-1 cm	Extremely high frequency	EHF
300-3000 GHz	0,1 mm-1 mm	Tremendously high frequency	THF

2.7 Antena

Antena adalah sebuah konduktor elektrik yang secara umum berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik lalu memancarkannya ke ruang bebas dan sebaliknya, lebih jelasnya yaitu untuk menerima getaran listrik dari *transmitter* dan memancarkannya sebagai gelombang radio ke ruang bebas (*transmission*), begitu pula sebaliknya yaitu untuk menerima serta menampung gelombang radio dan kemudian meneruskan gelombang listrik ke *receiver* (*reception*). Secara garis besar, antena dibagi menjadi dua jenis berdasarkan arah radiasinya, yaitu radiasi ke segala arah (*omnidirectional*) dan radiasi ke arah tertentu



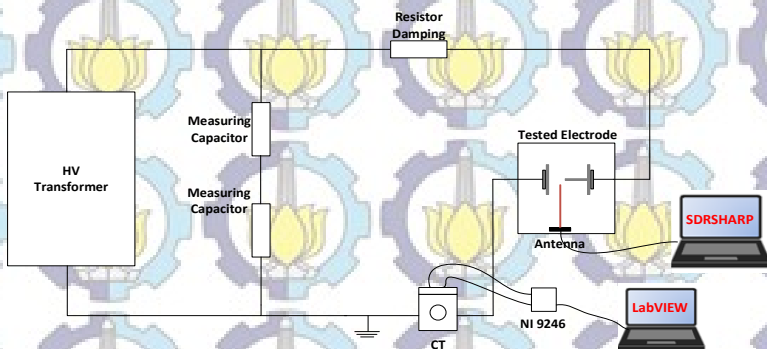
(*directional*). Antena yang digunakan dalam pengujian ini adalah antena monopole yang termasuk dalam jenis antena dengan radiasi ke segala arah (*omnidirectional*). Monopole termasuk jenis antena resonan yang tersusun dari satu buah batang konduktor elektrik, dimana batang ini berfungsi sebagai resonator untuk gelombang radio, dengan osilasi gelombang radio terdiri dari tegangan dan arus. Karakteristik dari *gain* dan tingkat efisiensi radiasi dipengaruhi oleh panjang *electrical* (batang konduktor) antena yang berhubungan dengan frekuensi operasinya.

BAB III ALAT PENGUJIAN DAN METODE PENGAMBILAN DATA

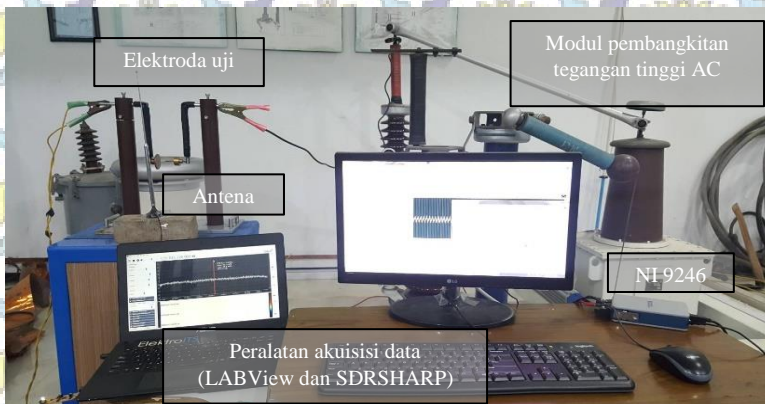
3.1 Alat Pengujian

Untuk mendeteksi aktivitas *partial discharge* pada isolasi udara dibutuhkan suatu rangkaian peralatan yang berupa perangkat keras yang digunakan untuk melakukan pengujian dan pengambilan data serta perangkat lunak yang digunakan untuk mengolah hasil data yang telah didapatkan. Skema rangkaian alat pengujian dan pengambilan data yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* pada isolasi udara ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.

Secara rinci serangkaian peralatan yang digunakan untuk mendeteksi *partial discharge* pada isolasi udara terdiri dari pembangkitan tegangan tinggi AC, beberapa elektroda uji, *grounding* tambahan pada *body* meja penyangga elektroda, *Current Transformer* (CT), antena yang terhubung langsung dengan perangkat lunak SDRSharp melalui sebuah *receiver* pada laptop, dan NI 9246 yang juga terhubung langsung dengan perangkat lunak LabVIEW pada *Personal Computer* (PC).



Gambar 3. 1 Skema rangkaian alat pengujian



Gambar 3. 2 Rangkaian alat pengujian yang digunakan

3.1.1 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Perbedaan pengamatan fenomena *prebreakdown* antara penggunaan sumber tegangan AC dan DC yaitu terletak pada hasil dari bentuk sinyal frekuensi yang terdeteksi. Ketika menggunakan sumber tegangan DC, perbedaan bentuk sinyal yang dihasilkan antara kondisi normal, *prebreakdown*, hingga *breakdown* sangat kecil sehingga sulit untuk diamati. Maka dari itu, sumber tegangan yang digunakan yaitu tegangan tinggi AC yang terdapat di laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro ITS. Pada Gambar 3.3 merupakan rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC yang terdiri dari beberapa peralatan, diantaranya yaitu *High Voltage Transformer* (TH) sebagai penaik tegangan atau trafo *step-up*, kapasitor *divider* (CST) yang berfungsi sebagai pembagi tegangan, dan *Control Box* (SB) yang berfungsi sebagai pengatur besarnya tegangan yang dikeluarkan oleh trafo. Secara rinci spesifikasi rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC pada pengujian ini terdapat pada Tabel 3.1

Tegangan suplai yang digunakan sebagai sumber berasal dari tegangan AC PLN 220 Volt. Sumber tegangan AC dari PLN ini menyuplai trafo. Sesuai dengan spesifikasinya, trafo tersebut dapat berlaku sebagai trafo *step-up* dengan tegangan keluaran maksimal sebesar 80 kV rms. Pengaturan seberapa besar tegangan AC yang dibangkitkan oleh trafo dapat diatur dengan menggunakan *Control Box* (SB). Tegangan yang terbaca pada *Control Box* adalah tegangan yang terukur sebenarnya.

Gambar 3. 3 Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC

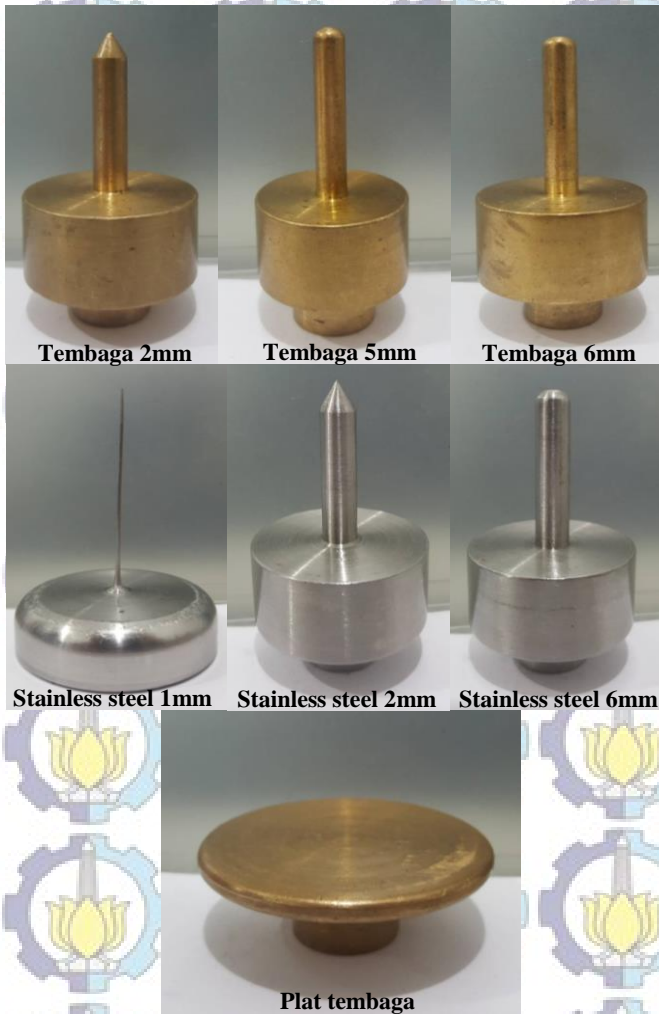
Tabel 3. 1 Spesifikasi peralatan rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC

TH: High Voltage Transformer	80 kV rms, 5 kVA
CST: Capacitor Divider	80 kV rms, 400 kV impulse, 500 pF
SB: Control Box	Type 273

3.1.2 Elektroda Uji

Konfigurasi elektroda yang sangat baik untuk mengamati aktivitas *partial discharge* adalah elektroda plat-jarum, konfigurasi ini memiliki variasi ketidakhomogenan medan yang baik [1] dan dikarenakan proses pra-peluahan baru akan terjadi pada tingkat ketidakseragaman medan yang lebih tinggi yang kemudian akan berpengaruh pada tingkat tegangan gagal[8]. Oleh karena itu, pada pengujian ini menggunakan beberapa elektroda dengan memvariasikan diameter pada elektroda jarum. Elektroda plat yang terbuat tembaga dalam pengujian ini digunakan pada sisi negatif. Sedangkan elektroda jarum yang digunakan pada sisi positif, digunakan dua bahan yang berbeda yaitu tembaga dan *stainless steel* dengan tiga variasi diameter. Elektroda-elektroda tersebut dinamai dengan elektroda jarum tembaga1 (2mm), tembaga2 (5mm), tembaga3 (6mm), *stainless steel*1 (1mm), *stainless steel*2 (2mm), dan *stainless steel*3 (6mm). Dalam pengujian ini, selain penggunaan diameter elektroda yang dikombinasikan, jarak antar elektroda juga diubah-ubah sebesar 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan bagaimana pengaruh perbedaan bentuk permukaan elektroda (diameter) dan adanya perbedaan jarak terhadap aktivitas

partial discharge pada isolasi udara yang terdeteksi. Bentuk-bentuk elektroda yang digunakan dalam pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3. 4 Elektroda-elektroda yang digunakan dalam pengujian

3.1.3 Peralatan Akuisi Data

Terdapat tiga peralatan yang digunakan untuk akuisisi data dalam pengujian ini, yaitu antena, *Current Transformer* (CT), dan NI 9246. Antena terhubung dengan *dongle* RTL-SDR yang digunakan untuk pengambilan data sinyal yang dihasilkan dari aktivitas *partial discharge* pada isolasi udara, sedangkan CT dan NI 9246 digunakan untuk pengambilan data arus.

Antena berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik lalu memancarkannya ke ruang bebas dan sebaliknya. Antena yang digunakan dalam pengujian ini adalah antena monopole yang termasuk dalam jenis antena dengan radiasi ke segala arah (*omnidirectional*). Pada pengujian ini antena terhubung dengan laptop melalui *dongle* RTL-SDR.

Current Transformer atau trafo arus biasa disebut dengan CT adalah peralatan yang digunakan untuk keperluan pengukuran dalam sistem tenaga, kegunaan CT dalam pengujian ini yaitu untuk merubah nilai nominal arus sistem yang besar menjadi lebih kecil sehingga besaran arus dapat terbaca pada saat pengukuran. Spesifikasi CT yang digunakan dalam pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Pada pengujian ini, CT digunakan sebagai pembaca arus yang kemudian dihubungkan dengan alat akuisisi data, yaitu perangkat keras eksternal NI 9246. NI 9246 merupakan produk dari National Instruments, berupa *Compact DAQ* atau *Analogue Input Module* yang biasanya digunakan sebagai akuisisi data arus. NI 9246 dengan 50kS/s *sample rate* memiliki dua sisi, yaitu sisi depan dan sisi belakang, dimana sisi depan dihubungkan ke bagian positif dan negatif dari CT, kemudian sisi belakangnya dihubungkan ke *ground* dan ke PC yang sudah terdapat program LabVIEW. Bentuk dari NI 9246 dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Tabel 3. 2 Spesifikasi *Current Transformer* (CT)

Jenis	Powell MSQ-30
Rasio	50/5 A
Class	1
Burden	5
Rang Frekuensi	50-60 Hz



Gambar 3. 5 NI 9246

3.2 Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan di laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro ITS secara langsung. Pengambilan data yang berupa pengujian ini dilakukan dengan membangkitkan modul tegangan tinggi AC yang sudah terhubung dengan elektroda uji yang sebelumnya sudah dikombinasikan sedemikian rupa bentuk dan jaraknya. Akuisisi data meliputi data arus yang terekam pada program LabVIEW dan bentuk gelombang/sinyal frekuensi yang terdeteksi oleh antenna dan terbaca pada program SDRSharp saat aktivitas *partial discharge* hingga *breakdown* terjadi.

3.2.1 Akuisisi Data

Akuisisi data dalam pengujian ini menggunakan perangkat keras eksternal NI 9246 yang terhubung dengan personal komputer yang di dalamnya sudah terdapat program LabVIEW dan antenna yang terhubung dengan laptop melalui sebuah *receiver* (RTL-SDR) yang di dalamnya sudah terdapat program SDRSharp.

LabVIEW merupakan singkatan dari *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench* yang dikembangkan oleh *National Instrument*, yaitu produsen alat uji otomatis dan perangkat lunak instrumentasi virtual. LabVIEW adalah sebuah perangkat lunak yang berfungsi sebagai aplikasi untuk akuisisi data yang dijalankan dengan bahasa pemrograman berbasis grafis. Dalam pengujian ini, LabVIEW digunakan untuk merekam arus dan bentuk arus selama pengujian dilakukan. LabVIEW dijalankan dengan bahasa pemrograman yang

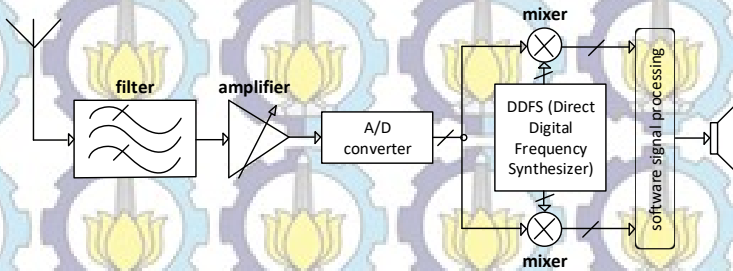
berupa blok diagram yang sebelumnya telah dibuat oleh *user*, sehingga dapat menjalankan program sesuai dengan alur yang diinginkan oleh *user*. Sedikit pengaturan yang dilakukan pada program LABVIEW, yaitu pada bagian *sample to read* 10k dan rate 10 kHz.

Pada proses pengambilan data, setelah blok diagram yang diinginkan telah dibuat, program LabVIEW dapat dijalankan. Akuisisi data ini dimulai saat tegangan mula akan dibangkitkan hingga tegangan *breakdown* tercapai, gunanya agar didapat arus dan bentuk arus mula yang digunakan sebagai referensi saat keadaan normal, yaitu saat sebelum munculnya *partial discharge*, arus serta bentuk arus dapat tetap terus terekam hingga pada saat *partial discharge* terjadi dan kemudian *breakdown*. Dengan demikian maka didapatlah data referensi dan data yang diinginkan (data arus dan bentuk arus sebelum dan saat *partial discharge* terjadi) yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut. Kemudian data yang telah diperoleh ini akan tersimpan secara otomatis pada *data logging* LabVIEW. Data keluaran dari proses *data logging* pada LabVIEW ini tersimpan dalam format “.tdms”, sehingga diperlukan program bantu untuk membaca dan mengolahnya lebih lanjut.

Program bantu ini bernama DIAdem, yaitu perangkat lunak yang dirancang khusus untuk mengakses, memproses, dan melaporkan dengan cepat data-data yang berukuran besar. DIAdem memiliki salah satu fungsi yaitu menjalankan perintah secara berulang dalam memproses data mentah hingga menjadi data lanjutan yang siap digunakan. Pada proses pengambilan data dalam pengujian ini, DIAdem membantu dalam pemotongan sinyal data, hal ini perlu dilakukan agar *data sampling* yang tersimpan tidak terlalu banyak. Pada DIAdem, data hasil dari keluaran LabVIEW ditampilkan dalam bentuk grafik sinyal arus, dimana sumbu x dan y dari grafik masing-masing menunjukkan nilai besaran arus yang terbaca dan waktu sebanyak jumlah *sampling* yang telah diatur sebelumnya pada saat pengambilan data. Data hasil pemotongan sinyal kemudian akan ditampilkan dengan menggunakan Matlab.

Akuisisi data yang kedua menggunakan perangkat lunak SDRSharp. Peralatan yang digunakan berupa antenna dan *dongle* RTL-SDR yang terhubung dengan laptop yang di dalamnya sudah terdapat program SDRSharp tersebut. SDR atau *Software Defined Radio* adalah sebuah perangkat lunak DSP (*Digital Signal Processing*) yang berfungsi untuk mengubah/memproses sinyal frekuensi radio yang berbentuk analog menjadi bentuk digital yang selanjutnya dapat dianalisis lebih lanjut melalui komputer. Data yang diperoleh dan digunakan pada SDRSharp

ini berupa besaran frekuensi radio dan spektrum warna dari suatu sinyal. Diagram blok dan spesifikasi dari *interface* SDR ini dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Tabel 3.3.



Gambar 3. 6 Diagram blok interface SDR

Tabel 3. 3 Spesifikasi interface SDR

Modul RTL-SDR	USB Tuner R820T
Jenis Antenna	Monopole (tinggi 25 cm)
Range Frequency	24-1766 MHz
Maksimum <i>bandwidth</i>	3.2MHz
Impedansi masukan	70 Ohm
ADC	8-Bit
Low Noise Amplifier	dB

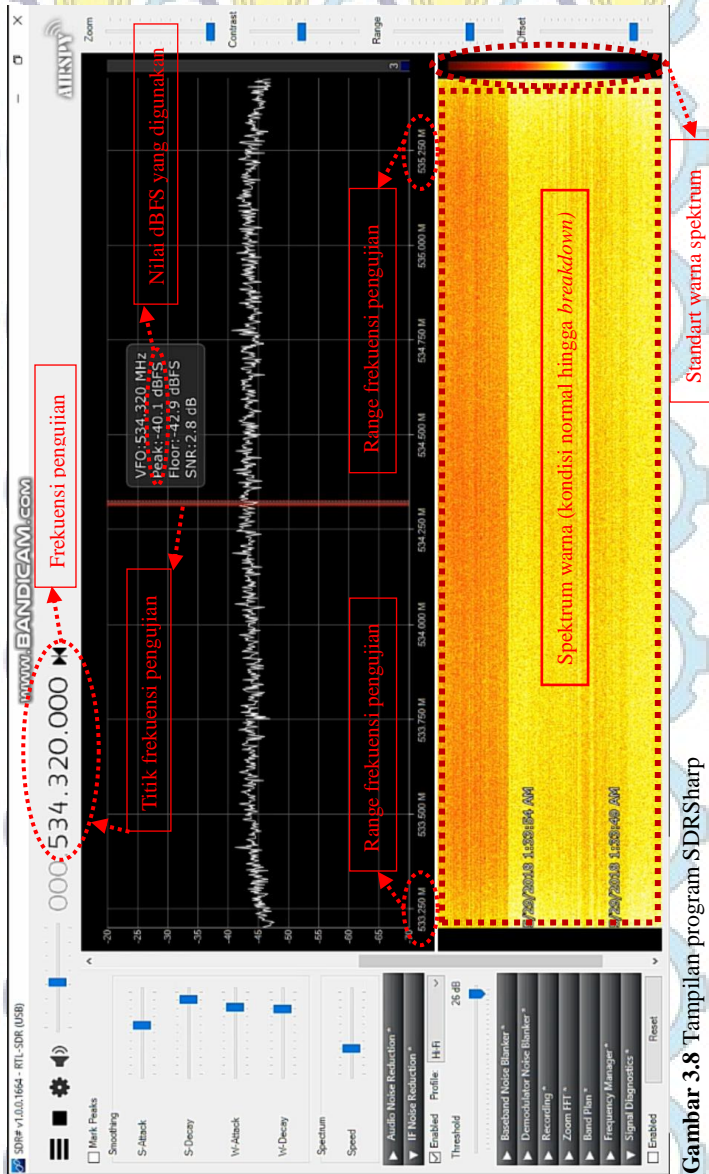
Ada beberapa implementasi perangkat keras dari SDR, salah satunya yaitu *dongle* DVB-T yang sifatnya hanya sebagai *receiver*. *Dongle* adalah sebuah perangkat keras berbentuk USB *interface* yang memiliki fungsi untuk membuat kode enkripsi. Cara kerja *dongle* yaitu dengan menyimpan suatu informasi dalam bentuk perangkat keras (*hardware*) yang kemudian dibaca dan diidentifikasi oleh perangkat lunak (*software*), *dongle* ini tidak akan bekerja jika tidak terpasang dengan *port* atau memiliki lisensi yang benar. *Dongle* DVB-T ini menggunakan *chip* demodulator (ADC) dari Realtek yang bernama RTL2832U, sehingga *chipset* ini dikenal dengan RTL-SDR. RTL atau *Register Transfer Level*, yaitu suatu rangkaian digital yang berada dalam sebuah bentuk perangkat keras dan memiliki hasil keluaran berbentuk sinyal. RTL ini berfungsi untuk mengalirkan sinyal data digital antara *hardware register* dengan operasi logika. Singkatnya, RTL-SDR adalah sebuah teknologi yang

bekerja sebagai *receiver* untuk menangkap sinyal radio kisaran frekuensi 24-1760 MHz dengan menggunakan USB dan komputer. Bentuk dari antenna serta *dongle* RTL-SDR dapat dilihat pada Gambar 3.7

SDR # atau lebih sering disebut dengan SDRSharp adalah perangkat lunak yang paling kompatibel dengan RTL-SDR, tampilan aplikasi dan prosedur pengaturan yang sederhana membuat SDRSharp ini lebih mudah untuk dioperasikan dan menjadi yang paling banyak digunakan saat ini, SDRSharp dapat menampilkan bentuk sinyal frekuensi radio beserta dengan besaran amplitudo, range frekuensi, spektrum warna, dan lainnya. Pengaturan pada SDRSharp dilakukan secara manual sehingga *user* dengan bebas dapat melakukan pengaturan hingga keluaran yang dia harapkan tercapai. Pada pengujian ini, proses pengambilan data dilakukan dengan merekam sinyal frekuensi dan spektrum warna dimulai dari tegangan mula/kondisi normal, *pre-breakdown*, hingga *breakdown*. Pada Gambar 3.8 adalah tampilan dari program SDRSharp. Nilai sinyal yang didapatkan memiliki satuan dBfs (dB *full scale*) yang kemudian akan dikonversikan menjadi satuan dBm.



Gambar 3. 7 Antena dan dongle RTL-SDR



Gambar 3.8 Tampilan program SDRSharp

BAB IV

ANALISIS DETEKSI *PARTIAL DISCHARGE* PADA ISOLASI UDARA DENGAN METODE UHF

4.1 Fenomena *Partial Discharge* pada Isolasi Udara

Proses pengujian menggunakan modul pembangkitan tegangan tinggi AC serta konfigurasi elektroda plat-jarum. Pengambilan data sinyal frekuensi radio menggunakan antena yang sudah terhubung dengan program SDRSharp dan pengambilan data arus menggunakan NI 9246.

Proses pengambilan data dimulai dari kondisi normal, *pre-breakdown* (*inception point*), 1 sekon sebelum *breakdown*, *breakdown*, hingga normal kembali. Kondisi normal yaitu pada saat tegangan mula akan dibangkitkan hingga keadaan saat sebelum bunyi desis terdengar. Kondisi *pre-breakdown* ditandai dengan terdengarnya bunyi desis yang berasal dari kedua elektroda, besar tegangan pada kondisi ini digunakan sebagai *inception voltage*. Ketika bunyi desis semakin keras dan jelas terdengar, maka kondisi ini dianggap sebagai kondisi 1 sekon sebelum *breakdown*. Kondisi *breakdown* ditandai dengan bunyi desis yang akan diikuti dengan munculnya pendar-pendar cahaya kebiru-biruan disekitar elektroda yang disebut sebagai korona, jika tegangan terus dinaikkan lagi maka akan timbul *flash over* diantara kedua elektroda yang menandakan gagalnya isolasi udara menahan tegangan yang diberikan sehingga menyebabkan terhubungnya kedua elektroda tersebut. Data saat kondisi normal dan *breakdown* digunakan sebagai referensi perbandingan dengan data pada saat kondisi *pre-breakdown*.

Data sinyal frekuensi yang didapat berupa nilai dalam satuan dBFS, yaitu merupakan skala dB (desibel) untuk sinyal digital, dimana -15dBFS setara dengan 4 dBV. Kemudian akan dikonversikan hingga menjadi satuan dBm dengan perhitungan-perhitungan yang terdapat pada persamaan (4.1) – (4.4) dibawah ini.

$$(4/-15) \text{ dBfs} = \text{dBV} \quad (4.1)$$

$$10^{(2 \cdot \text{dBV})} = P(w) \quad (4.2)$$

$$10 \log (P(w)) = \text{dBW} \quad (4.3)$$

$$\text{dBW} + 30 = \text{dBm} \quad (4.4)$$

Dengan dBV merupakan satuan desibel yang menyatakan level tegangan terhadap tegangan referensi 1V. dBW adalah satuan level daya dengan referensi 1 watt (1 ampere dan 1 volt), merupakan besaran keluaran sinyal

yang dihasilkan oleh perangkat tertentu sehingga dinyatakan dalam bentuk dBW, untuk dBm sama dengan dBW, yaitu satuan yang menunjukkan level daya hanya saja dalam miliwatt, dengan perbandingan nilai dBW dan dBm yaitu 1:1000.

Berdasarkan referensi, *partial discharge* berada pada kisaran *range* frekuensi 50-800 MHz[6], frekuensi UHF berada pada *range* 300-3000MHz, dan *receiver* RTL-SDR dapat efektif bekerja mendeteksi sinyal pada *range* frekuensi 24-1766MHz. Maka dari itu pengujian ini dilakukan pada *range* frekuensi 533,250-535,250MHz dengan titik tengahnya berada pada frekuensi 534,320MHz.

4.2 Pengaruh Diameter Terhadap Jarak Elektroda Jarum Tembaga Terhadap Deteksi *Partial Discharge*

Kekasaran permukaan elektroda sangat mempengaruhi proses kegagalan[1]. Tingkat kekasaran menyebabkan adanya peningkatan medan pada permukaan elektroda yang mengakibatkan turunnya tegangan tembus Pada pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga ini, diameter dan jarak elektroda masing-masing dibedakan menjadi tiga variasi, yaitu dengan diameter 2mm, 5mm, dan 6mm dan dengan jarak 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm.

Dari segi jarak dan diameternya, peningkatan tegangan *breakdown* terjadi karena faktor jarak antara elektroda yang semakin berjauhan, dimana pergerakan elektron memerlukan energi yang lebih besar untuk bisa bergerak menuju katoda, dan semakin besar diameter dari suatu elektroda maka semakin tinggi pula tegangan tembus elektroda tersebut. Hal ini merujuk pada teori kekasaran permukaan elektrodan dan kegagalan pada medan tak-seragam[1]. Dimana tingkat kekasaran permukaan elektroda semakin kecil dan medan yang semakin homogen akan menyebabkan tingginya tegangan tembus suatu elektroda.

Dilihat dari data hasil yang telah didapatkan, menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan yang dikenakan maka nilai dBm akan semakin menurun setelah dikonversikan dari satuan dBFS pada tiap variasi jarak. Penurunan nilai dBm terbesar terjadi ketika bunyi desis semakin jelas terdengar yaitu pada kondisi 1 sekon sebelum *breakdown*. Hal ini dipengaruhi oleh media yang digunakan sebagai bahan isolasi, dalam hal ini dapat disebabkan oleh keadaan sekitar udara yang dijadikan sebagai bahan isolasi. Penurunan nilai ini dapat dipengaruhi oleh adanya interferensi atau redaman sinyal dari luar, atau bisa dikarenakan oleh

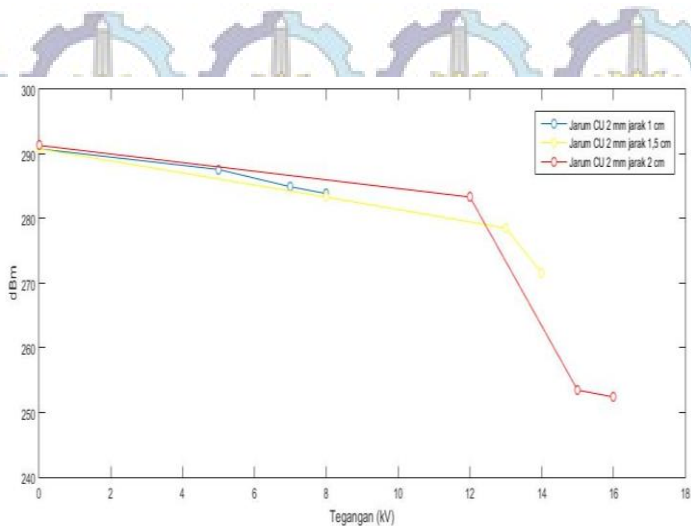
adanya *noise-noise* diudara sehingga menyebabkan tidak terdeteksi dengan sempurna frekuensi *partial discharge*. Perlu untuk diketahui, *noise* adalah sinyal-sinyal yang tidak diinginkan yang keberadaanya selalu ada dalam suatu sistem transmisi, dan redaman merupakan turunya level tegangan sinyal yang diterima akibat karakteristik media.

4.2.1 Elektroda Jarum Tembaga dengan Diameter 2mm

Pada jenis elektroda jarum ini, berurutan pada jarak 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm terjadi *breakdown* pada tegangan 8kV, 14kV, dan 16kV. Data serta grafik hasil pengujian elektroda jarum tembaga dengan diameter 2mm ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

Tabel 4. 1 Data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga berdiameter 2mm

Model Elektroda	Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBm
Jarum tembaga 2 mm	1	Normal	0	290.8
		Pre Breakdown (inception point)	5	287.6
		1 s sebelum breakdown	7	284.9333333
		Breakdown	8	283.8666667
	1.5	Normal	0	290.8
		Pre Breakdown (inception point)	8	283.3333333
		1 s sebelum breakdown	13	278.5333333
		Breakdown	14	271.6
	2	Normal	0	291.3333333
		Pre Breakdown (inception point)	12	283.3333333
		1 s sebelum breakdown	15	253.4666667
		Breakdown	16	252.4



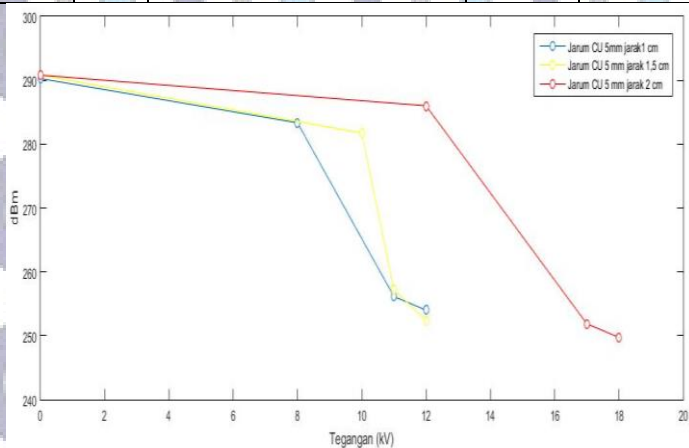
Gambar 4. 1 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga berdiameter 2mm

4.2.2 Elektroda Jarum Tembaga dengan Diameter 5mm

Pada jenis elektroda jarum ini, berurutan pada jarak 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm terjadi *breakdown* pada tegangan 12kV, 12kV, dan 18kV. Data serta grafik hasil pengujian elektroda jarum tembaga dengan diameter 5mm ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2.

Tabel 4. 2 Data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga berdiameter 5mm

Model Elektroda	Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBm
Jarum tembaga 5 mm	1	Normal	0	290,2666667
		Pre Breakdown (inception point)	8	283,3333333
		1 s sebelum breakdown	11	256,1333333
		Breakdown	12	254
	1.5	Normal	0	290,8
		Pre Breakdown (inception point)	10	281,7333333
		1 s sebelum breakdown	11	257,2
		Breakdown	12	252,4
	2	Normal	0	290,8
		Pre Breakdown (inception point)	12	286
		1 s sebelum breakdown	17	251,8666667
		Breakdown	18	249,7333333



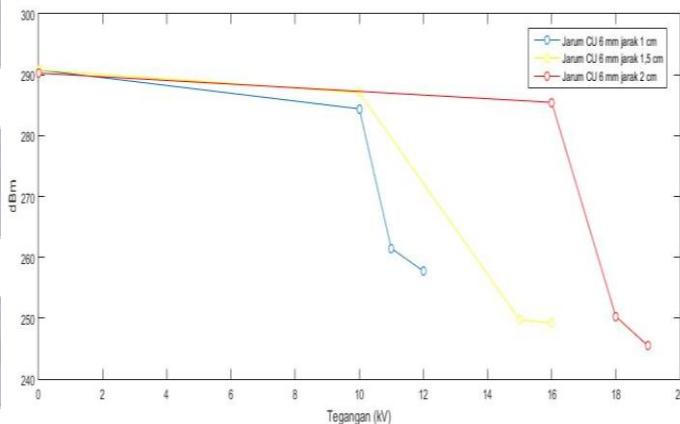
Gambar 4. 2 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga berdiameter 5mm

4.2.3 Elektroda Jarum Tembaga dengan Diameter 6mm

Pada jenis elektroda jarum ini, berurutan pada jarak 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm terjadi *breakdown* pada tegangan 12kV, 16kV, dan 19kV. Data serta grafik hasil pengujian elektroda jarum tembaga dengan diameter 6mm ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.3.

Tabel 4. 3 Data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga berdiameter 6mm

Model Elektroda	Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBm
Jarum tembaga 6 mm	1	Normal	0	290.8
		Pre Breakdown (inception point)	10	284.4
		1 s sebelum breakdown	11	261.4666667
		Breakdown	12	257.7333333
	1.5	Normal	0	290.8
		Pre Breakdown (inception point)	10	287.0666667
		1 s sebelum breakdown	15	249.7333333
		Breakdown	16	249.2
	2	Normal	0	290.2666667
		Pre Breakdown (inception point)	16	285.4666667
		1 s sebelum breakdown	18	250.2666667
		Breakdown	19	245.4666667



Gambar 4. 3 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga berdiameter 6mm

4.3 Pengaruh Diameter Terhadap Jarak Elektroda Jarum *Stainless Steel Terhadap Deteksi Partial Discharge*

Teori yang digunakan sama dengan teori yang sudah dijelaskan pada sub bab 4.2. Kekasaran permukaan elektroda sangat mempengaruhi proses kegagalan[1]. Dari segi jarak dan diameternya, peningkatan tegangan *breakdown* terjadi karena faktor jarak antara elektroda yang semakin berjauhan, dimana pergerakan elektron memerlukan energi yang lebih besar untuk bisa bergerak menuju katoda, dan semakin besar diameter dari suatu elektroda maka semakin tinggi pula tegangan tembus elektroda tersebut. Hal ini merujuk pada teori kekasaran permukaan elektrodan dan kegagalan pada medan tak-seragam[1]. Dimana jika tingkat kekasaran permukaan elektoda semakin besar dan medan yang semakin tak homogen akan menyebabkan rendahnya tegangan tembus suatu elektroda.

Dilihat dari data hasil yang telah didapatkan, menunjukkan adanya kesamaan pola dengan elektroda jarum tembaga yaitu, semakin tinggi tegangan yang dikenakan maka nilai dBm akan semakin menurun setelah dikonversikan dari satuan dBFS pada tiap variasi jarak. Penurunan nilai dBm terbesar terjadi ketika bunyi desis semakin jelas terdengar yaitu pada kondisi 1 sekon sebelum *breakdown*. Hal ini dapat disebabkan oleh keadaan sekitar udara yang dijadikan sebagai bahan isolasi. Penurunan

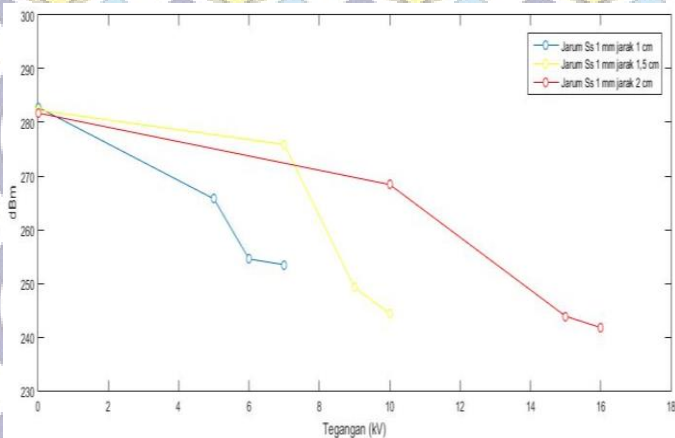
nilai ini dapat dipengaruhi oleh adanya interferensi ataupun redaman sinyal dari luar, atau bisa dikarenakan oleh adanya *noise-noise* diudara sehingga menyebabkan tidak terdeteksi dengan sempurna frekuensi *partial discharge*. Perlu untuk diketahui, *noise* adalah sinyal-sinyal yang tidak diinginkan yang keberadaannya selalu ada dalam suatu sistem transmisi, dan redaman merupakan turunnya level tegangan sinyal yang diterima akibat karakteristik media. Selain itu, dikarenakan antenna yang digunakan pada pengujian ini memiliki sensitivitas yang kurang bagus terhadap *range* frekuensi UHF sehingga masih agak sulit untuk melakukan pengaturan yang cocok untuk dapat mendeteksi sinyal frekuensi *partial discharge* secara tepat dan hasil deteksipun masih menunjukkan adanya frekuensi asing lain yang terdeteksi.

4.3.1 Elektroda Jarum *Stainless Steel* dengan Diameter 1mm

Pada jenis elektroda jarum ini, berurutan pada jarak 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm terjadi *breakdown* pada tegangan 7kV, 10kV, dan 16kV. Data serta grafik hasil pengujian elektroda jarum *stainless steel* dengan diameter 1mm ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.4.

Tabel 4. 4 Data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda *stainless steel* berdiameter 1mm

Model Elektroda	Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBm
Jarum stainless steel 1 mm	1	Normal	0	282.8
		Pre Breakdown (inception point)	5	265.7333333
		1 s sebelum breakdown	6	254.5333333
		Breakdown	7	253.4666667
	2	Normal	0	282.2666667
		Pre Breakdown (inception point)	7	275.8666667
		1 s sebelum breakdown	9	249.2
		Breakdown	10	244.4
	2	Normal	0	281.7333333
		Pre Breakdown (inception point)	10	268.4
		1 s sebelum breakdown	15	243.8666667
		Breakdown	16	241.7333333



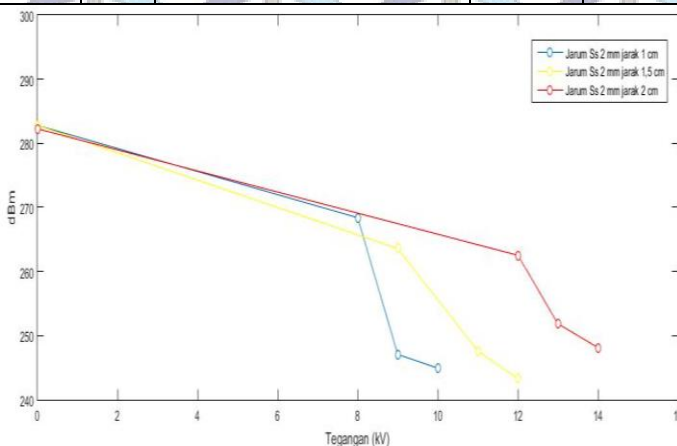
Gambar 4. 4 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda *stainless steel* berdiameter 1mm

4.3.2 Elektroda Jarum *Stainless Steel* dengan Diameter 2mm

Pada jenis elektroda jarum ini, berurutan pada jarak 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm terjadi *breakdown* pada tegangan 10kV, 12kV, dan 14kV. Data serta grafik hasil pengujian elektroda jarum *stainless steel* dengan diameter 2mm ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.5.

Tabel 4. 5 Data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda *stainless steel* berdiameter 2mm

Model Elektroda	Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBm
Jarum stainless steel 2 mm	1	Normal	0	282.8
		Pre Breakdown (inception point)	8	268.4
		1 s sebelum breakdown	9	247.0666667
		Breakdown	10	244.9333333
	1.5	Normal	0	282.8
		Pre Breakdown (inception point)	9	263.6
		1 s sebelum breakdown	11	247.6
		Breakdown	12	243.3333333
	2	Normal	0	282.2666667
		Pre Breakdown (inception point)	12	262.5333333
		1 s sebelum breakdown	13	251.8666667
		Breakdown	14	248.1333333



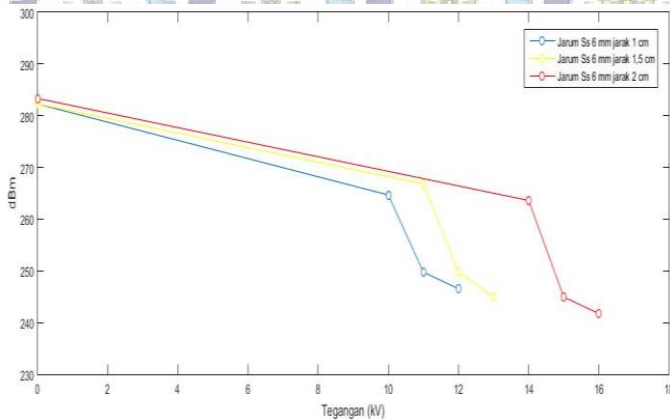
Gambar 4. 5 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda *stainless steel* berdiameter 2mm

4.3.3 Elektroda Jarum Stainless Steel dengan Diameter 6mm

Pada jenis elektroda jarum ini, berurutan pada jarak 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm terjadi *breakdown* pada tegangan 12kV, 13kV, dan 16kV. Data serta grafik hasil pengujian elektroda jarum *stainless steel* dengan diameter 6mm ditunjukkan pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.6.

Tabel 4. 6 Data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda *stainless steel* berdiameter 6mm

Model Elektroda	Jarak (cm)	Kondisi	Tegangan (kV)	Nilai dBm
Jarum stainless steel 6 mm	1	Normal	0	282.2666667
		Pre Breakdown (inception point)	10	264.6666667
		1 s sebelum breakdown	11	249.7333333
		Breakdown	12	246.5333333
	1.5	Normal	0	282.2666667
		Pre Breakdown (inception point)	11	266.8
		1 s sebelum breakdown	12	249.7333333
		Breakdown	13	244.9333333
	2	Normal	0	283.3333333
		Pre Breakdown (inception point)	14	263.6
		1 s sebelum breakdown	15	244.9333333
		Breakdown	16	241.7333333



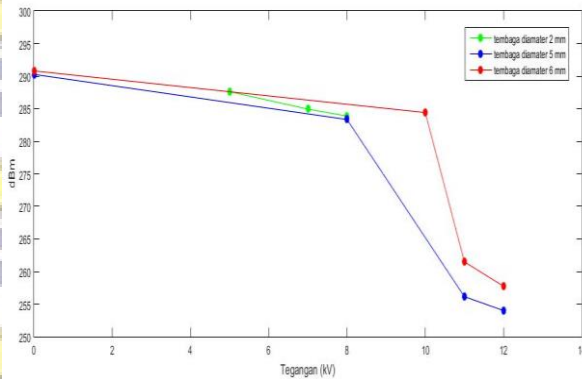
Gambar 4. 6 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda *stainless steel* berdiameter 6mm

4.4 Perbandingan Bahan Pembentuk Elektroda Jarum Terhadap Deteksi *Partial Discharge*

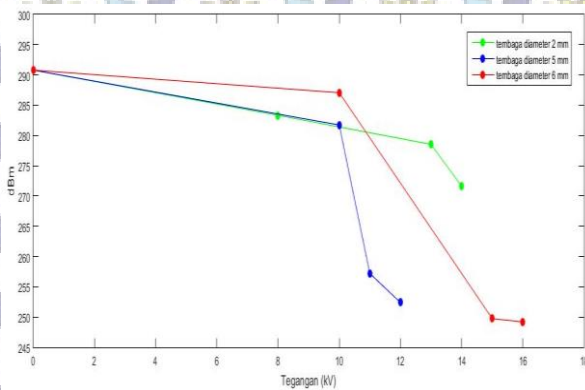
Selain diameter dan jarak, pada pengujian ini juga menganalisis deteksi elektroda berdasarkan bahan pembentuknya. *Work function* adalah besarnya energi yang diperlukan oleh sebuah elektron untuk dapat melakukan proses emisi. *Work function* dinyatakan dalam satuan eV (*electron volt*). Besarnya *work function* untuk setiap logam berbeda-beda. Tembaga memiliki *work function* sebesar 4.5eV dan *stainless steel* sebesar 4.4eV. Ini berarti pada tembaga diperlukan energi lebih besar untuk dapat terjadi proses emisi elektron, emisi ini mempengaruhi pergerakan elektron yang berakibat pada tinggi atau rendahnya tegangan *breakdown* suatu elektroda, maka dari itu elektroda tembaga memiliki nilai tegangan *breakdown* yang lebih besar dari pada *stainless steel*, dan ini pun terlihat pada data hasil pengujian yang telah didapatkan yang menunjukkan bahwa tegangan *breakdown* dari elektroda tembaga lebih besar dari elektroda *stainless steel*.

4.5 Perbandingan Jarak Terhadap Diameter Elektroda Jarum Tembaga dan *Stainless Steel* Terhadap Deteksi *Partial Discharge*

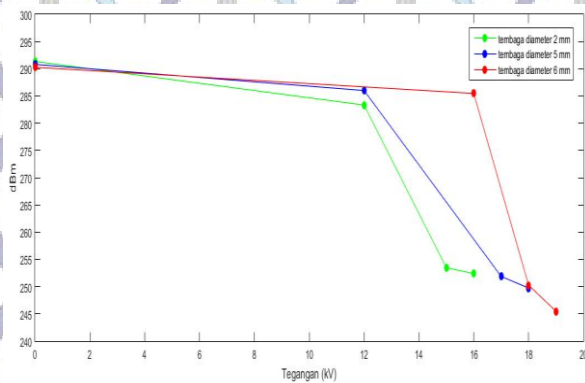
Gambar 4.7 sampai dengan 4.12 menunjukkan hasil pengujian dengan gambar grafik pada jarak elektroda yang sama dengan berbagai variasi ukuran diameter elektroda jarum tembaga dan *stainless steel*. Secara garis besar didapatkan hasil bahwa semakin besar diameter elektroda yang digunakan pada pengujian, maka semakin besar pula tegangan *breakdown* dari elektroda tembaga maupun *stainless steel*.



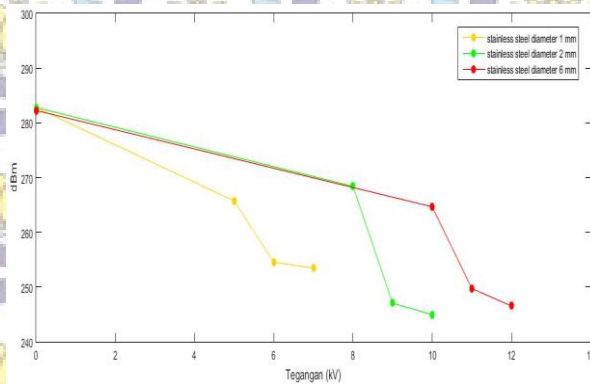
Gambar 4. 7 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga dengan jarak 1cm



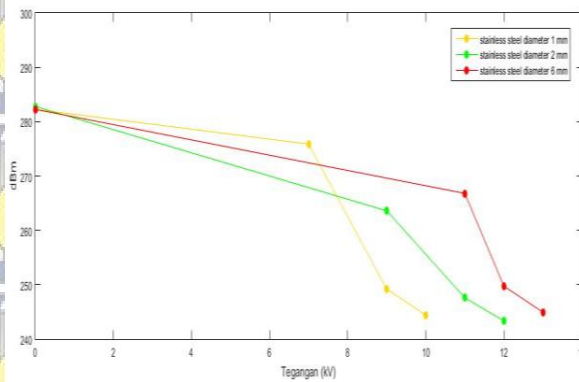
Gambar 4. 8 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga dengan jarak 1,5cm



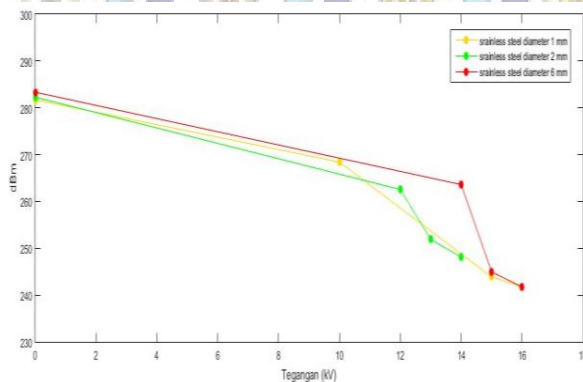
Gambar 4. 9 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda tembaga dengan jarak 2cm



Gambar 4. 10 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda *stainless steel* dengan jarak 1cm



Gambar 4. 11 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda *stainless steel* dengan jarak 1,5cm

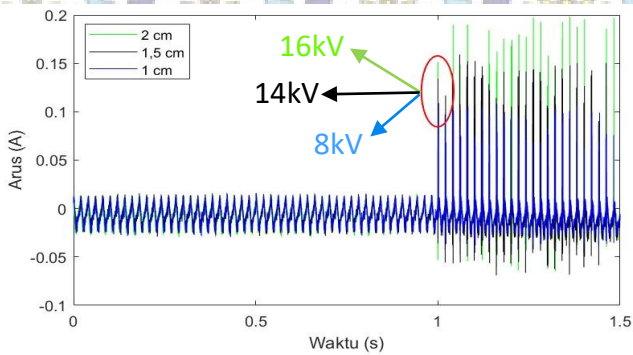


Gambar 4. 12 Grafik data hasil pengujian dengan menggunakan elektroda *stainless steel* dengan jarak 2cm

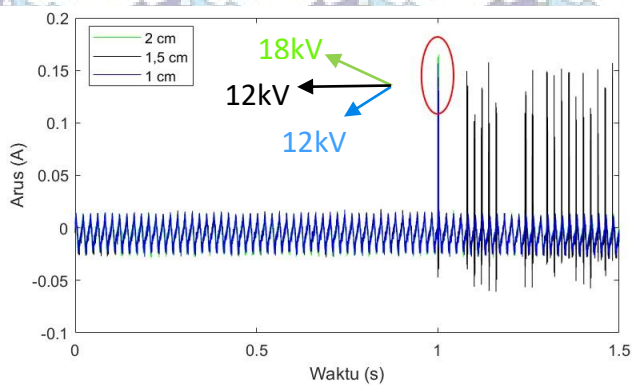
4.6 Sinkronisasi Hasil Pengambilan Data dengan Antena dan Data Arus

Pengambilan data dilakukan selain dengan antena juga dengan menggunakan NI 9246 yang bertujuan untuk mencocokkan hasil data arus bocor dengan sinyal yang terdeteksi oleh antena, memastikan bahwa sinyal frekuensi yang terdeteksi oleh antena adalah sinyal akibat aktivitas aktivitas *partial discharge*. NI 9246 ini terhubung langsung dengan PC, dimana pada PC tersebut sudah terdapat program LABView dan DIAdem. Pengoprasian/pengambilan data NI 9246 dilakukan bersamaan dengan antena agar durasi maupun waktu *inception voltage* dan *breakdown voltage* terekam bersamaan.

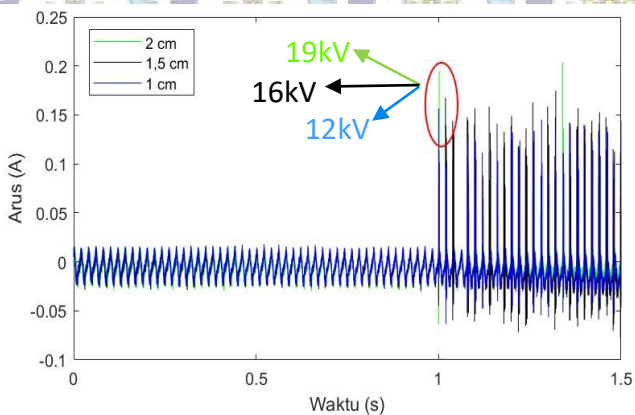
Untuk mempermudah analisis, tidak semua bagian data arus yang terekam dengan NI 9246 yang digunakan, hanya pada kondisi 1 detik sebelum tegangan tembus/*breakdown voltage* dan 0,5 detik setelah *breakdown voltage*, karena pada keadaan tersebut terjadi aktivitas *partial discharge* yaitu sebelum *breakdown voltage* dan keadaan setelah *breakdown voltage* terjadi. Hasil pengambilan data arus bocor menunjukkan bahwa data sinyal frekuensi yang terdeteksi oleh antena adalah benar aktivitas dari *partial discharge*. Setelah disinkronisasikan, dapat dibuktikan kebenarannya bahwa antena yang digunakan dapat mendeteksi aktivitas *partial discharge* aktivitas *partial discharge* pada isolasi udara. Data arus bocor yang terekam oleh NI 9246 dapat dilihat pada Gambar 4.13 hingga 4.19.



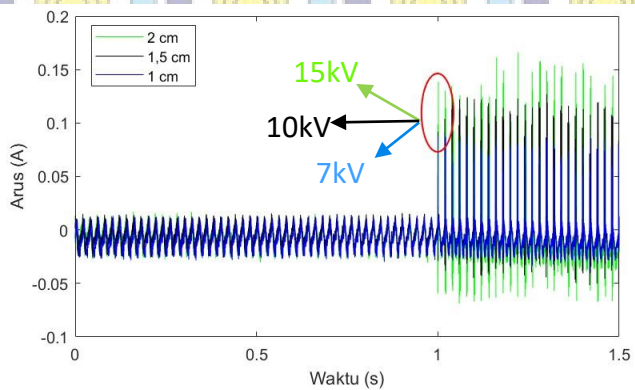
Gambar 4. 13 Arus bocor pada elektroda jarum tembaga diameter 2mm



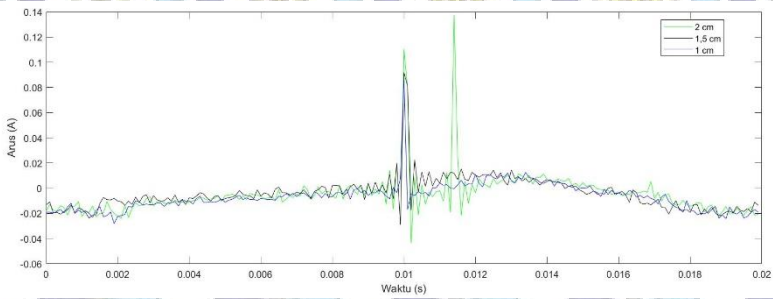
Gambar 4. 14 Arus bocor pada elektroda jarum tembaga diameter 5mm



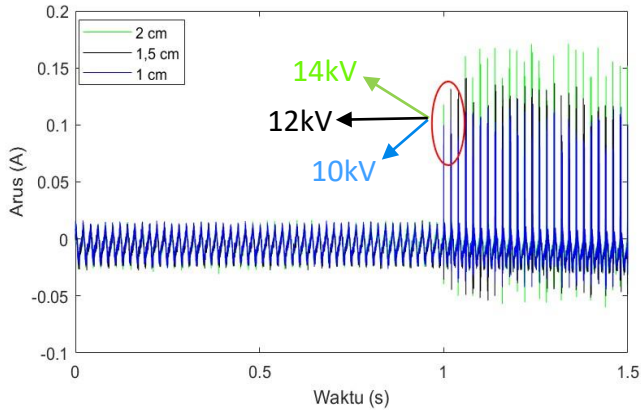
Gambar 4. 15 Arus bocor pada elektroda jarum tembaga diameter 6mm



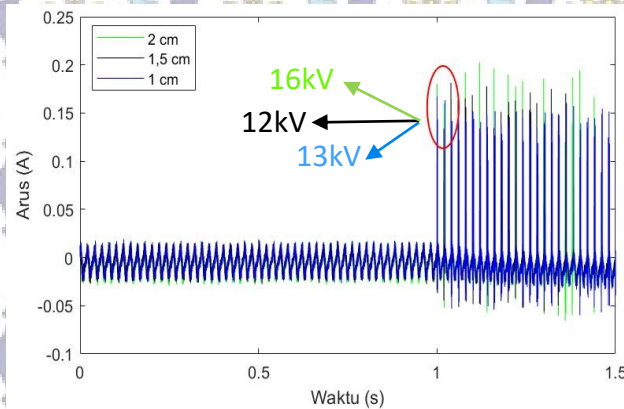
Gambar 4. 16 Arus bocor pada elektroda jarum *stainless steel* diameter 1mm



Gambar 4. 17 Perbesaran dari arus bocor pada elektroda jarum *stainless steel* diameter 1mm



Gambar 4. 18 Arus bocor pada elektroda jarum *stainless steel* jarum diameter 2mm



Gambar 4. 19 Arus bocor pada elektroda jarum *stainless steel* jarum diameter 6mm

Dari data hasil yang telah didapatkan, metode arus bocor ini hanya dapat mendeteksi beberapa milisekon saja sebelum terjadinya lonjakan arus yang menandakan terjadinya *breakdown*, atau dapat dikatakan tidak adanya arus bocor yang terdeteksi ketika tegangan belum sampai pada tegangan *breakdown*. Sedangkan dengan menggunakan metode UHF yang berdasarkan dari frekuensi radio, terlihatnya perubahan nilai dan bentuk sinyal pada setiap kondisi isolasi udara.

4.7 Sinkronisasi Hasil Pengambilan Data Sinyal Frekuensi dengan Spektrum Warna

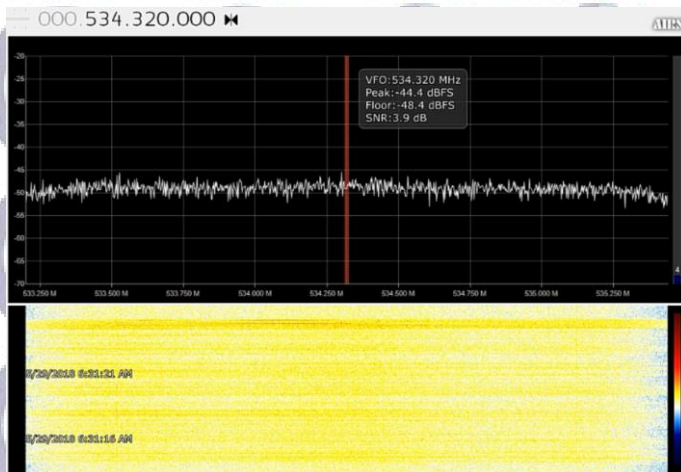
Selain dapat merekam bentuk sinyal, program SDRSharp juga dapat merekam perbedaan spektrum warna yang terjadi pada saat melakukan pendeteksian aktivitas *partial discharge*. Spektrum warna ini dapat diatur secara manual mengenai pemilihan warna dasar spektrum. Terdapat dua warna dasar, yaitu kuning lalu menjadi semakin merah dan kuning lalu menjadi semakin biru. Pola warna akan berubah jika terdapat sinyal/gelombang radio yang sedang aktif terdeteksi pada frekuensi deteksi tersebut. Pengaturan untuk mendeteksi *partial discharge* pada pengujian ini menggunakan warna dasar kuning yang semakin kemerahan.

Pada Gambar 4.20 menampilkan standart perubahan kondisi sinyal frekuensi dengan spektrum warna yang digunakan pada pengujian ini.

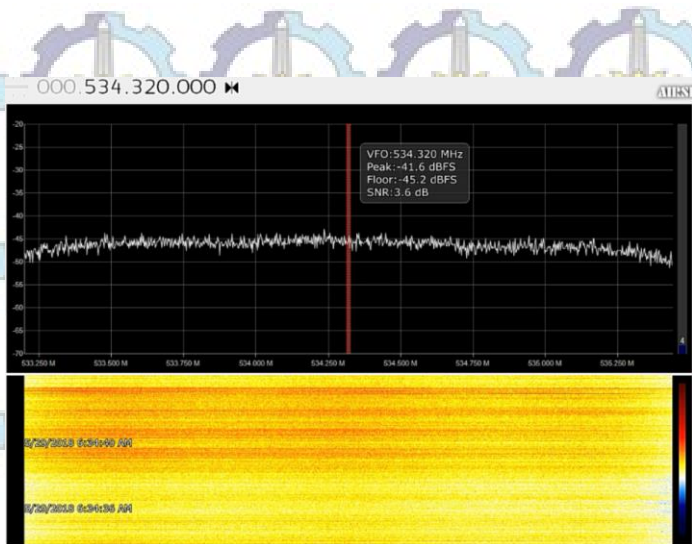
Setelah dianalisis, perubahan spektrum warna menunjukkan suatu pola, dimana peningkatan tegangan yang tentunya diikuti dengan peningkatan pergerakan medan yang dihasilkan akan merubah spektrum warna menjadi semakin orange atau semakin merah. Perubahan warna ini sebanding dengan peningkatan tegangan. Dimana peningkatan tegangan juga sebanding dengan peningkatan jarak yang diaplikasikan serta diameter elektroda yang semakin besar sehingga spektrum warna menunjukkan warna yang semakin memerah. Pada Gambar 4.21 sampai dengan Gambar 4.38 merupakan hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga dan *stainless steel* dengan berbagai kondisi.



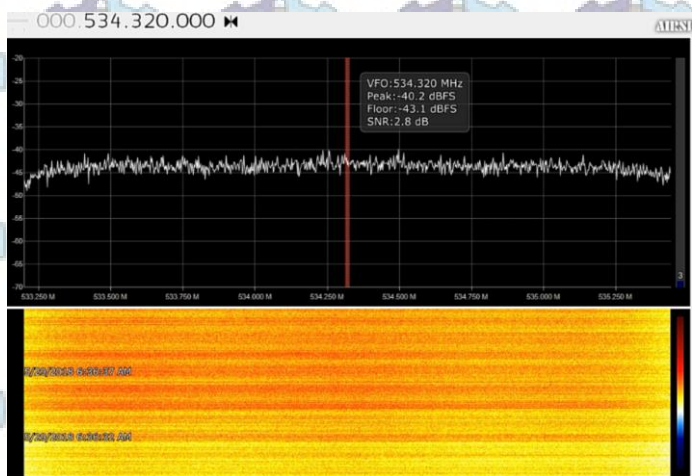
Gambar 4. 20 Standart perubahan kondisi sinyal dengan spektrum



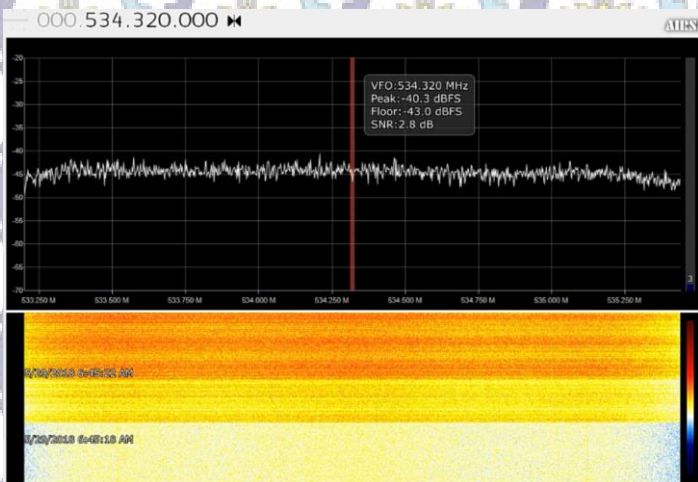
Gambar 4. 21 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 2mm dan jarak 1cm pada saat kondisi normal hingga *breakdown*.



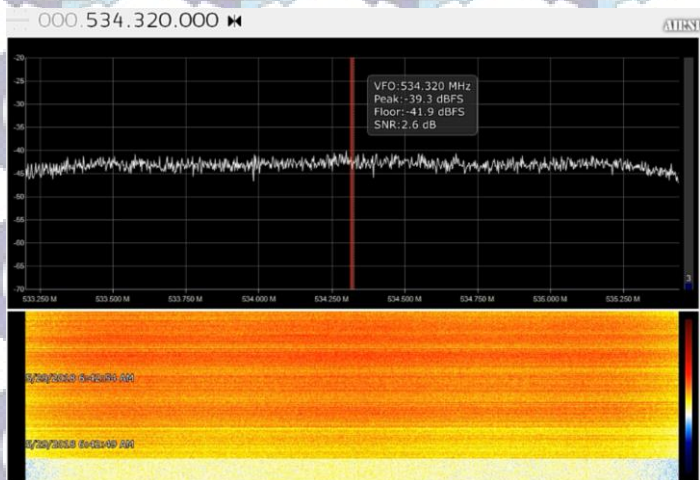
Gambar 4. 22 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 2mm dan jarak 1,5cm pada saat kondisi *inception voltage* hingga *breakdown*.



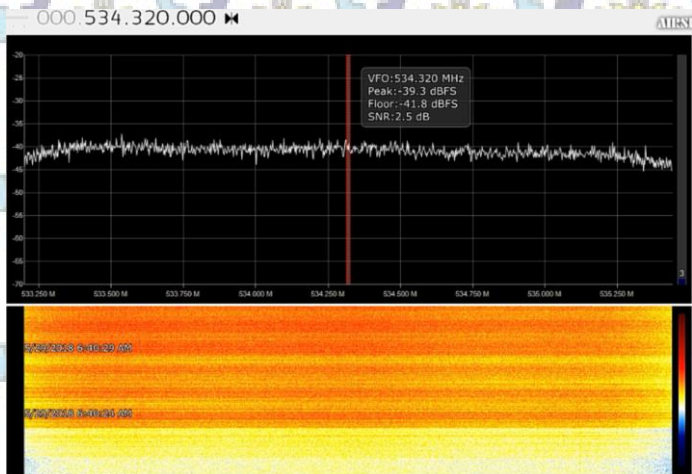
Gambar 4. 23 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 2mm dan jarak 2cm pada saat kondisi *inception voltage*.



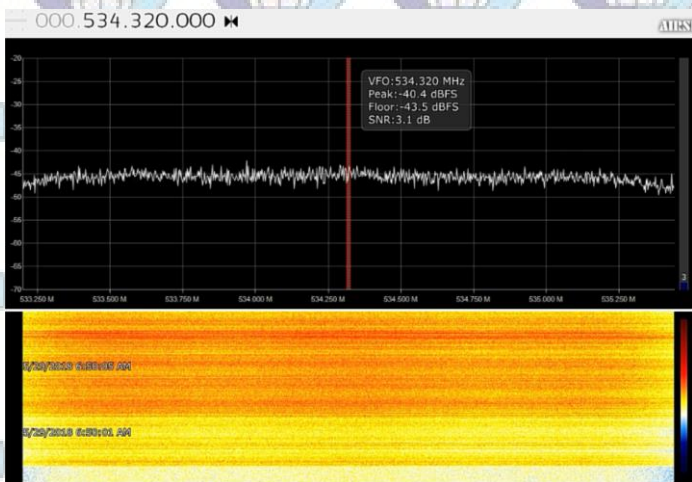
Gambar 4. 24 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 5mm dan jarak 1cm pada saat kondisi normal hingga *inception voltage*.



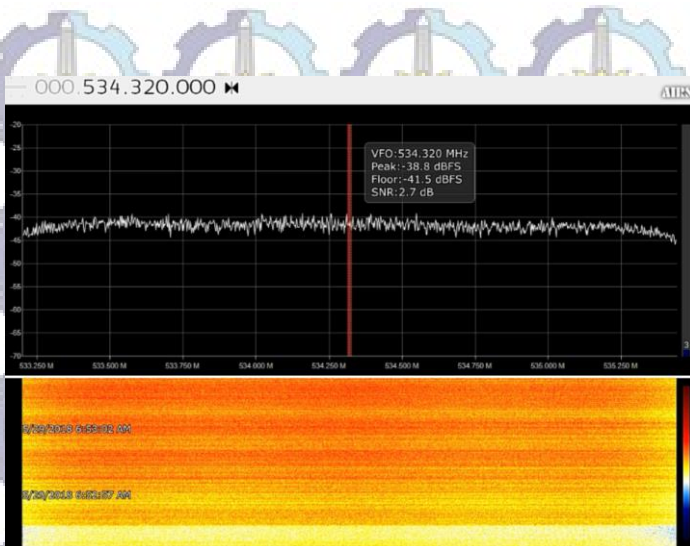
Gambar 4. 25 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 5mm dan jarak 1,5cm pada saat kondisi normal hingga *inception voltage*.



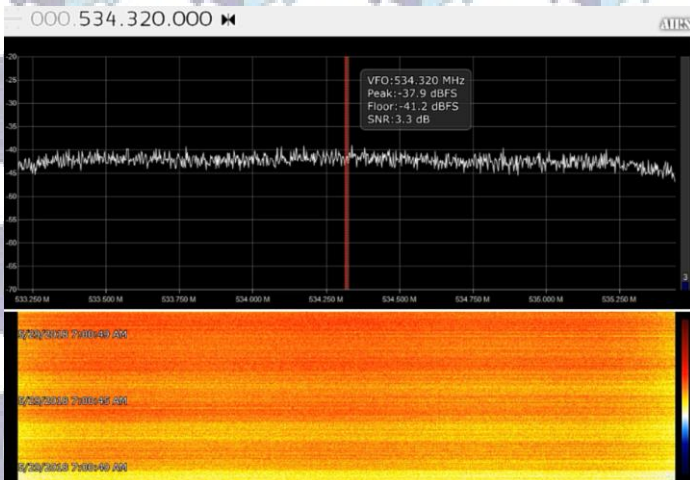
Gambar 4. 26 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 5mm dan jarak 2cm pada saat kondisi normal hingga *inception voltage*.



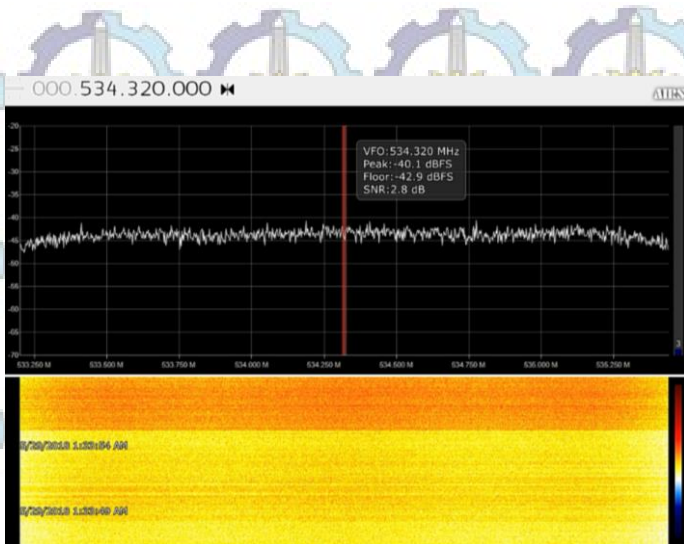
Gambar 4. 27 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 6mm dan jarak 1cm pada saat kondisi normal hingga *breakdown*.



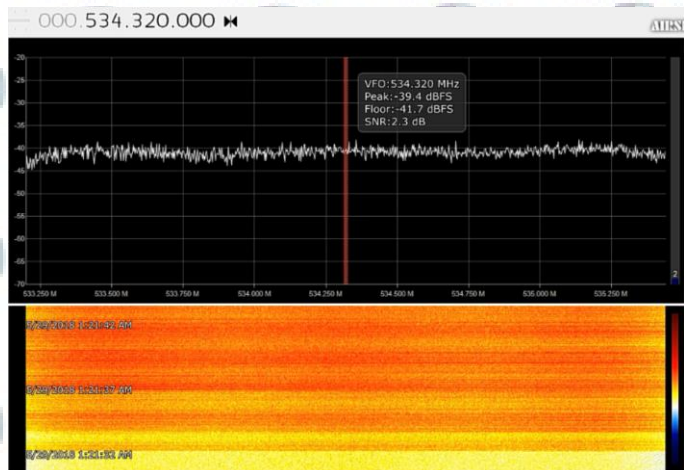
Gambar 4. 28 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 6mm dan jarak 1,5cm pada saat kondisi *inception voltage*.



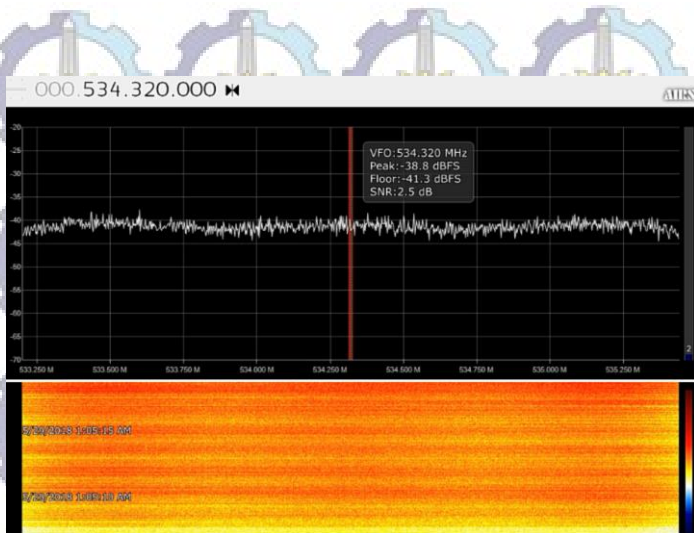
Gambar 4. 29 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga berdiameter 6mm dan jarak 2cm pada saat kondisi *inception voltage*.



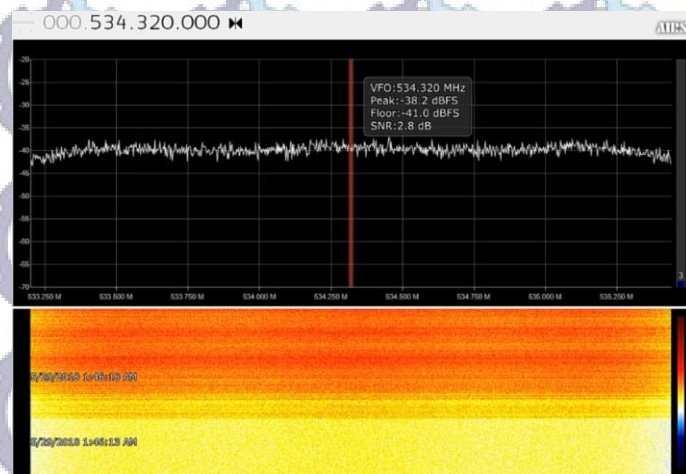
Gambar 4. 30 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum *stainless steel* berdiameter 1mm dan jarak 1cm pada saat kondisi *inception voltage* hingga 1 detik sebelum *breakdown*.



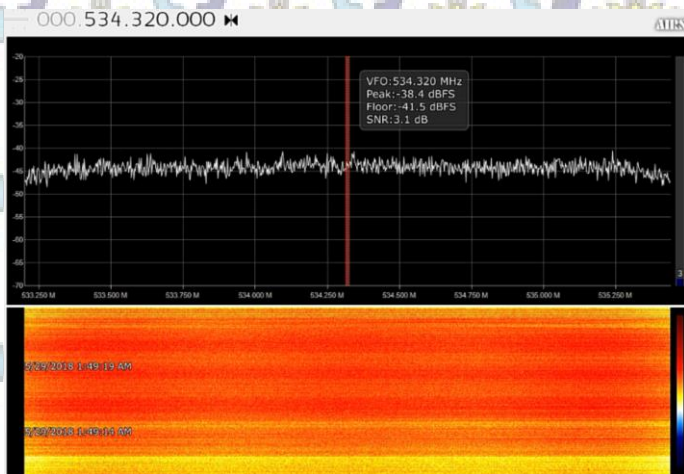
Gambar 4. 31 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum *stainless steel* berdiameter 1mm dan jarak 1,5cm pada saat kondisi normal hingga *inception voltage*.



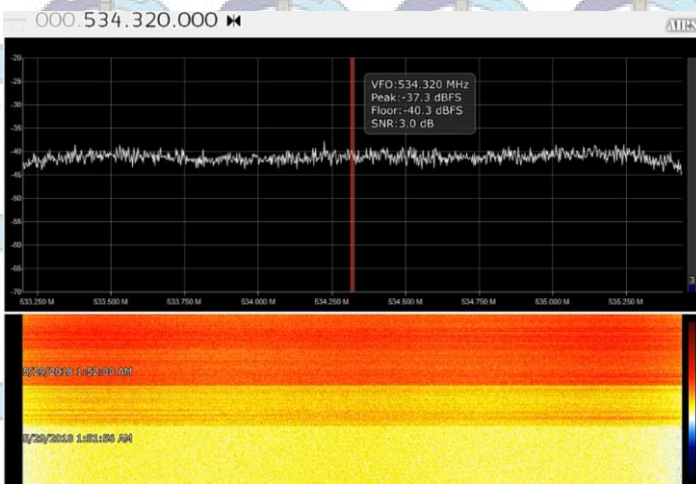
Gambar 4. 32 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum *stainless steel* berdiameter 1mm dan jarak 2cm pada saat kondisi normal hingga *inception voltage*.



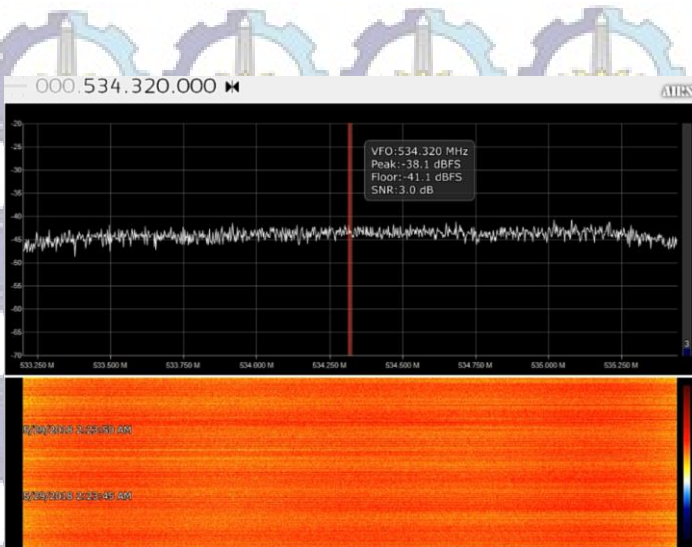
Gambar 4. 33 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum *stainless steel* berdiameter 2mm dan jarak 1cm pada saat kondisi normal hingga *inception voltage*.



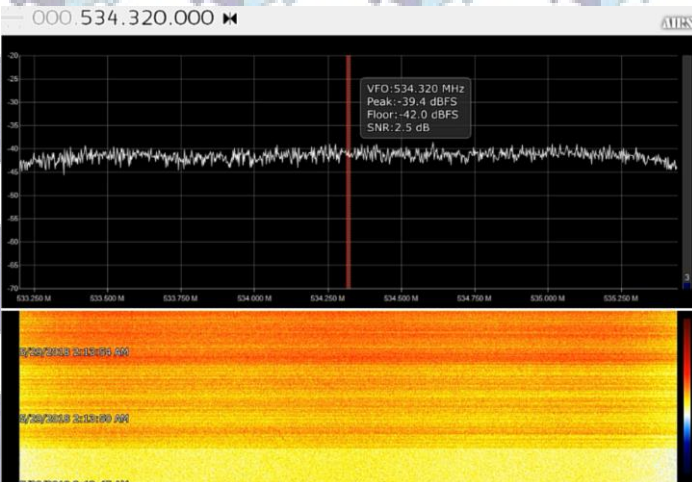
Gambar 4. 34 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum *stainless steel* berdiameter 2mm dan jarak 1,5cm pada saat kondisi *inception voltage* hingga *breakdown*.



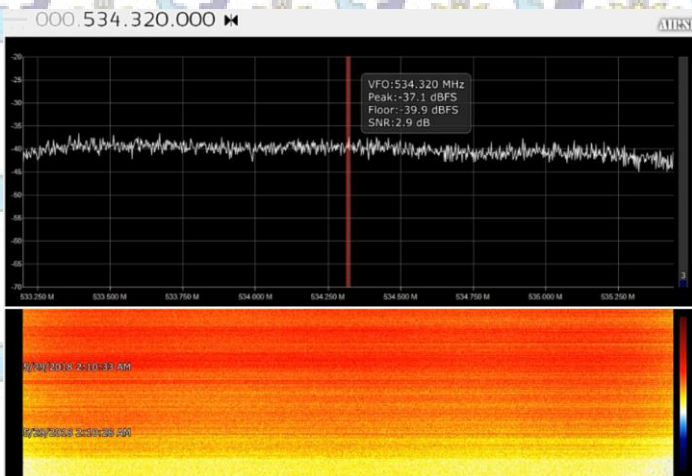
Gambar 4. 35 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum *stainless steel* berdiameter 2mm dan jarak 2cm pada saat kondisi normal hingga *inception voltage*.



Gambar 4. 36 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum *stainless steel* berdiameter 6mm dan jarak 1cm pada saat kondisi *inception voltage* hingga *breakdown*.



Gambar 4. 37 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum *stainless steel* berdiameter 6mm dan jarak 1,5cm pada saat kondisi normal hingga *inception voltage*.




Gambar 4. 38 Spektrum warna hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum *stainless steel* berdiameter 6mm dan jarak 2cm pada saat kondisi normal hingga 1 detik sebelum *breakdown*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan mengenai deteksi *partial discharge* pada isolasi udara dengan menggunakan metode UHF (*Ultra High Frequency*) dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rangkaian alat pengujian serta alat bantu deteksi yang digunakan pada pengujian ini dapat digunakan untuk menangkap/mendeteksi sinyal frekuensi UHF dari *partial discharge* pada isolasi udara.
2. Jarak, diameter, dan bahan dasar pembentuk elektroda mempengaruhi besar nilai *inception voltage* dan tegangan *breakdown* pada isolasi udara. Namun, tidak terjadi perbedaan hasil bentuk pola sinyal frekuensi yang terdeteksi oleh antenna.
3. Pendeteksian *partial discharge* dengan metode UHF dapat terlihat pada perubahan bentuk sinyal frekuensi dan spektrum warna.
4. Pengujian dilakukan pada *range* frekuensi 533,250-535,250MHz dengan titik tengahnya berada pada frekuensi 534,320MHz.
5. Karakteristik bentuk sinyal frekuensi yang didapat yaitu semakin besar tegangan yang dikenakan, nilai dBm akan semakin kecil dan penurunan nilai dBm terbesar terjadi pada kondisi 1 detik sebelum mencapai *breakdown*.
6. Nilai dBm pada hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum tembaga pada saat keadaan normal berada pada kisaran 290-291 dBm dan pada saat keadaan *breakdown* nilainya berada pada kisaran 245-283 dBm.
7. Nilai dBm pada hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum *stainless steel* pada saat keadaan normal berada pada kisaran 281-283 dBm dan pada saat keadaan *breakdown* nilainya berada pada kisaran 241-253 dBm.
8. Kecenderungan perubahan warna yang semakin tua atau semakin muda menunjukkan perbedaan tegangan yang dibangkitkan, berhubungan dengan adanya medan elektromagnetik dan pergerakan elektron yang akan mempengaruhi sinyal frekuensi yang



terdeteksi. Semakin besar tegangan yang dikenakan maka warna yang dihasilkan semakin tua.

9. Metode pendeteksian *partial discharge* dengan metode UHF lebih akurat dan presisi dibandingkan dengan metode *leakage current*.

5.2 Saran

Setelah dilakukan pengujian dan telah didapatkan hasil sebagaimana yang telah di paparkan pada bab sebelumnya, terdapat saran yang dapat dikembangkan mengenai pengujian *partial discharge* dengan metode UHF ini, diantaranya adalah pendeteksian *partial discharge* juga dapat dilakukan pada frekuensi VHF (*Very High Frequency*) sehingga *range* frekuensi yang diteliti bisa lebih besar dan hasilnya nanti dapat dibandingkan dengan pendeteksian *partial discharge* pada frekuensi UHF (*Ultra High Frequency*) dan melakukan pengujian dengan menggunakan antenna lain yang memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi untuk digunakan pada *range* frekuensi VHF maupun UHF sehingga aktivitas *partial discharge* pada isolasi udara dapat tertangkap dengan lebih jelas dan akurat..

DAFTAR PUSTAKA

[1] Negara, I Made Yulistya. 2013. Teknik Tegangan Tinggi Prinsip dan Aplikasi Praktis. Yogyakarta: Graha Ilmu

[2] W. J. K. Raymond, H. A. Illias, A. H. A. Bakar, and H. Mokhlis, "Partial discharge classifications: Review of recent progress," *Measurement*, vol. 68, pp. 164–181, May 2015.

[3] R. Alkadi *et al.*, "Smart antenna-based partial discharge detection and classification system," 2016, pp. 1–4.

[4] S. Tenbohlen, D. Denissov, S. Hoek, and S. M. Markalous, "Partial discharge measurement in the ultra high frequency (UHF) range," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 15, no. 6, pp. 1544–1552, Dec. 2008.

[5] A. H. Zahed *et al.*, "Design of hilbert fractal antenna for partial discharge detection and classification," 2015, pp. 1–4.

[6] H. Mohamed *et al.*, "Partial discharge detection using low cost RTL-SDR model for wideband spectrum sensing," 2016, pp. 1–5.

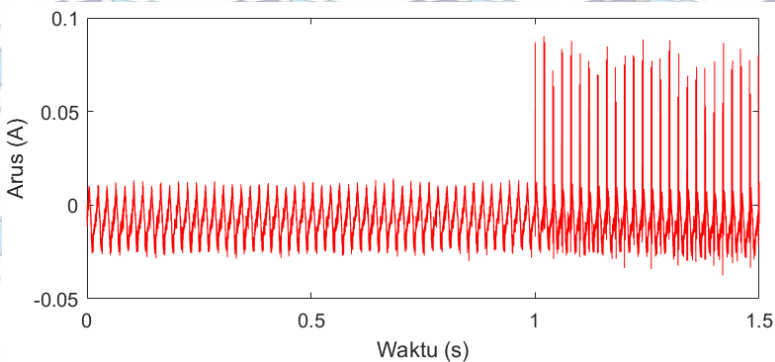
[7] N. Ra and U. Khayam, "Partial discharge measurement of 4 types of electrodes configuration in air insulation using high frequency current transformer sensor," 2015, pp. 100–105.

[8] MS Naidu., 1995. "*High Voltage Engineering : Second Edition*", McGraw-Hill.,

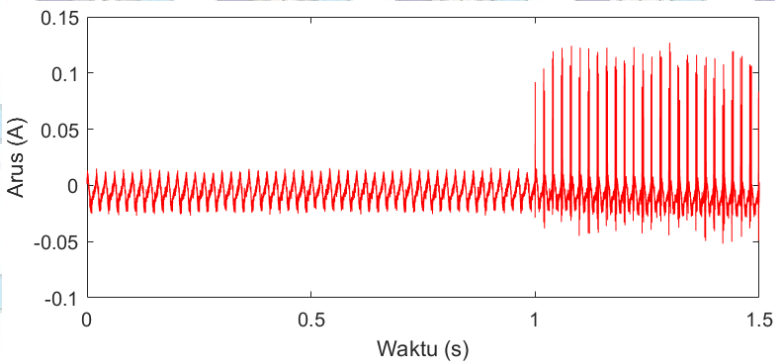


Halaman ini sengaja dikosongkan

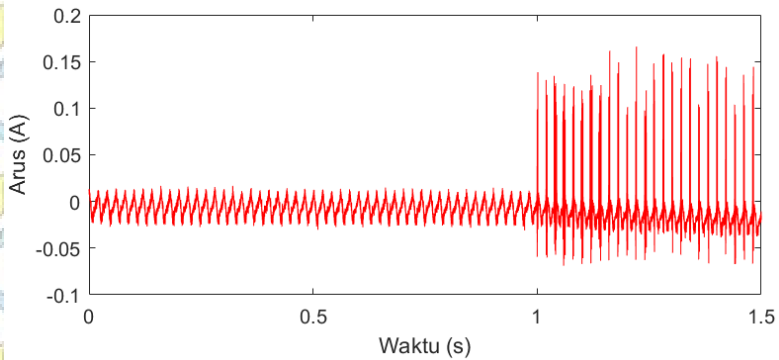
LAMPIRAN



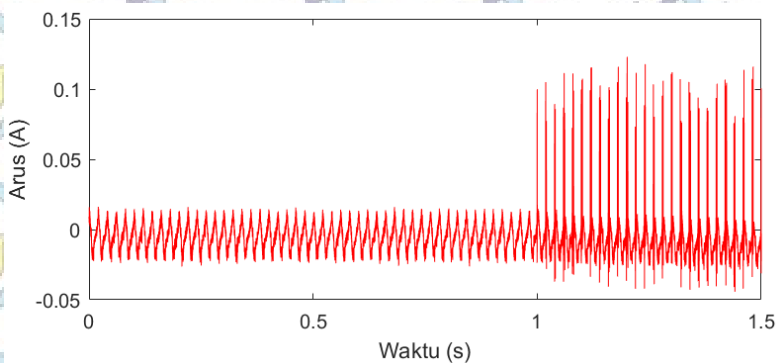
Gambar 1. Arus bocor pada elektroda uji jarum aluminium (1mm) dengan jarak 1cm



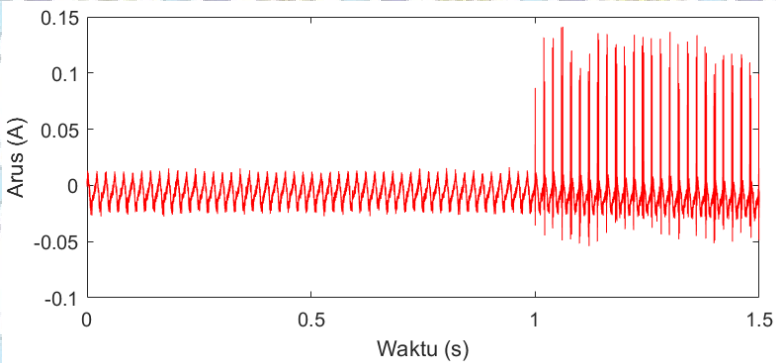
Gambar 2. Arus bocor pada elektroda uji jarum aluminium (1mm) dengan jarak 1,5cm



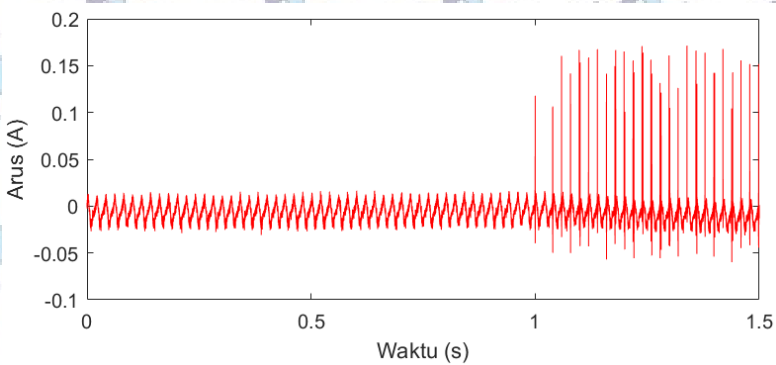
Gambar 3. Arus bocor pada elektroda uji jarum aluminium (1mm) dengan jarak 2cm



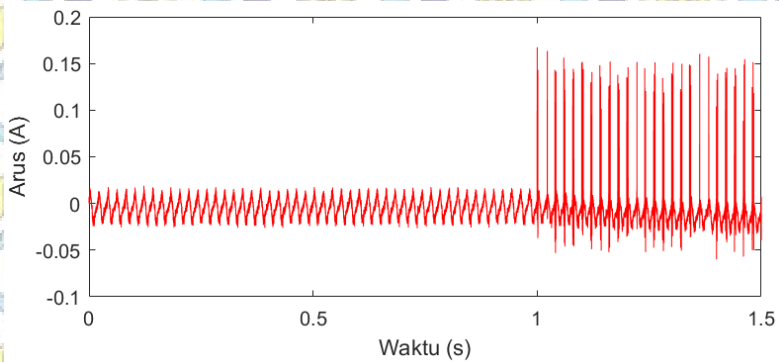
Gambar 4. Arus bocor pada elektroda uji jarum aluminium (2mm) dengan jarak 1cm



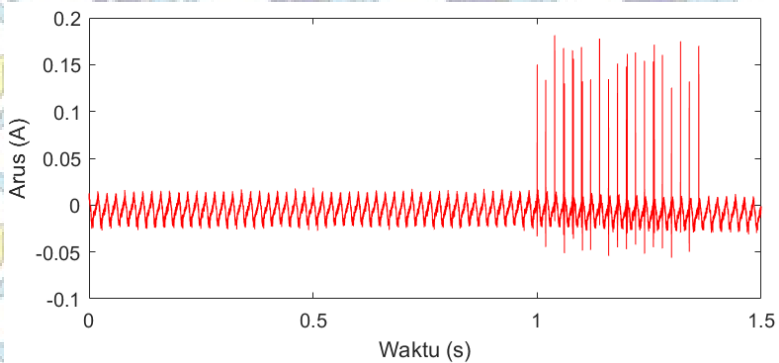
Gambar 5. Arus bocor pada elektroda uji jarum aluminium (2mm) dengan jarak 1,5cm



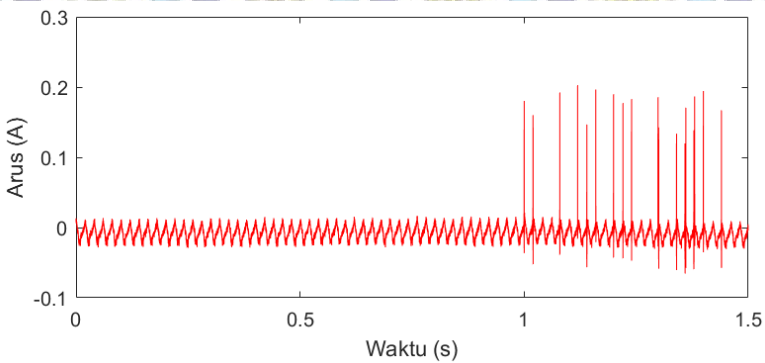
Gambar 6. Arus bocor pada elektroda uji jarum aluminium (2mm) dengan jarak 2cm



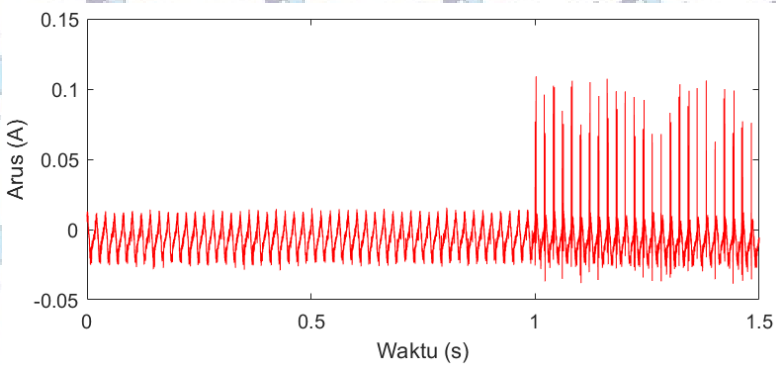
Gambar 7. Arus bocor pada elektroda uji jarum aluminium (6mm) dengan jarak 1cm



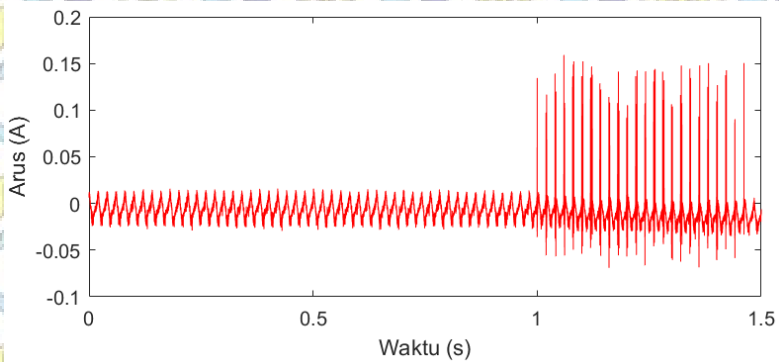
Gambar 8. Arus bocor pada elektroda uji jarum aluminium (6mm) dengan jarak 1,5cm



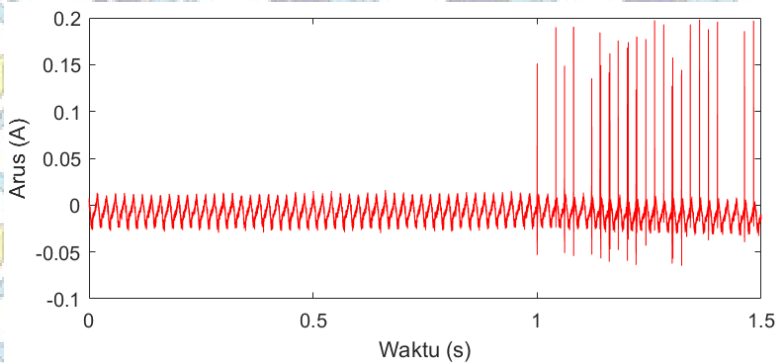
Gambar 9. Arus bocor pada elektroda uji jarum aluminium (6mm) dengan jarak 2cm



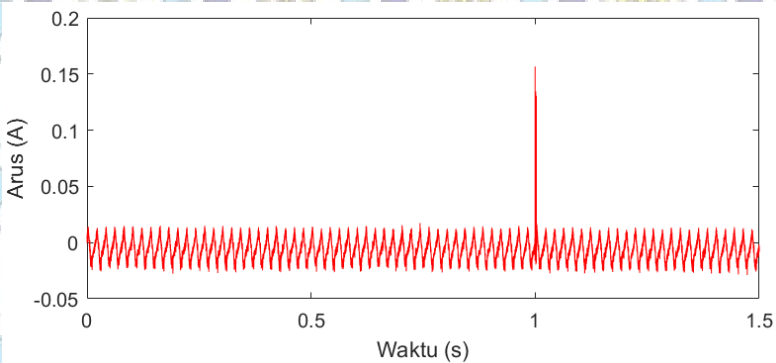
Gambar 10. Arus bocor pada elektroda uji jarum tembaga (2mm) dengan jarak 1cm



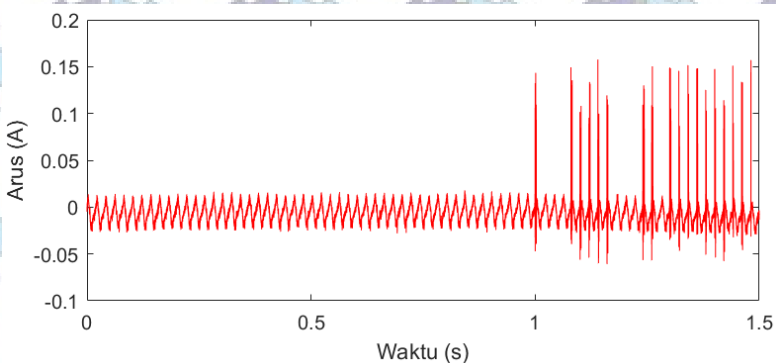
Gambar 11. Arus bocor pada elektroda uji jarum tembaga (2mm) dengan jarak 1,5cm



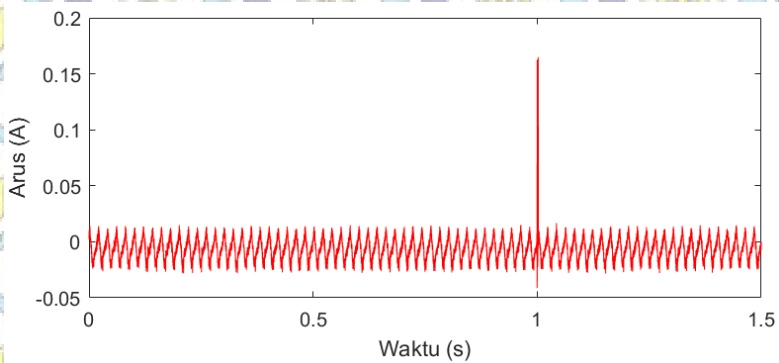
Gambar 12. Arus bocor pada elektroda uji jarum tembaga (2mm) dengan jarak 2cm



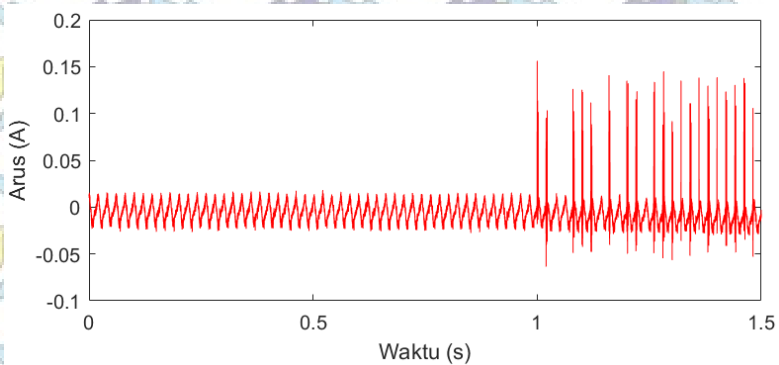
Gambar 13. Arus bocor pada elektroda uji jarum tembaga (5mm) dengan jarak 1cm



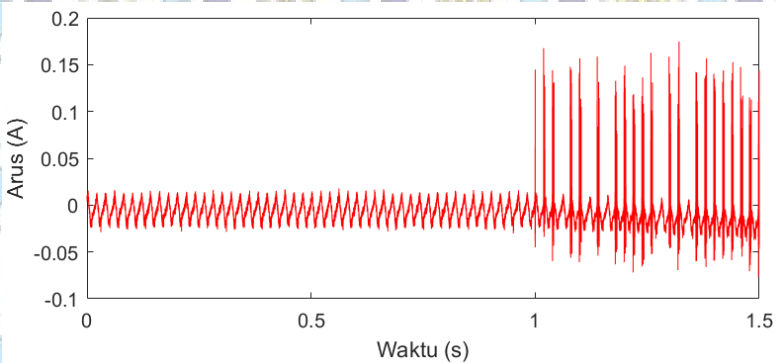
Gambar 14. Arus bocor pada elektroda uji jarum tembaga (5mm) dengan jarak 1,5cm



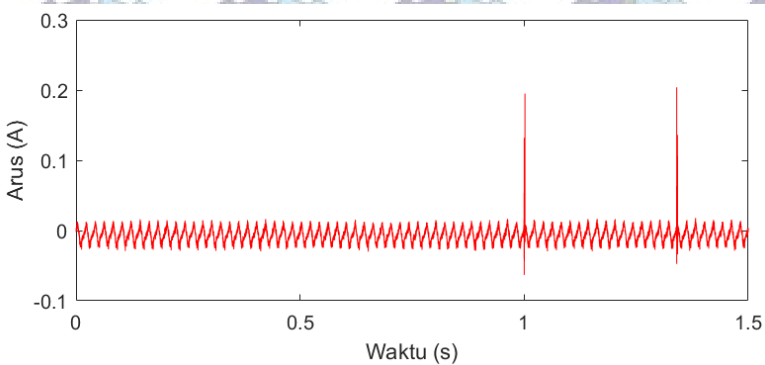
Gambar 15. Arus bocor pada elektroda uji jarum tembaga (5mm) dengan jarak 2cm



Gambar 16. Arus bocor pada elektroda uji jarum tembaga (6mm) dengan jarak 1cm



Gambar 17. Arus bocor pada elektroda uji jarum tembaga (6mm) dengan jarak 1,5cm



Gambar 18. Arus bocor pada elektroda uji jarum tembaga (5mm) dengan jarak 2cm



Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Della Maily Rahmadhita Rustanto. Penulis biasa dipanggil Della. Lahir di kota Bontang tanggal 1 Mei 1996, Telah menempuh pendidikan selama 12 tahun di kota Bontang dan 2 tahun di kota Cepu, dengan riwayat pendidikan TK YPVDP (2000-2002), SDN 3 CEPU (2002,2004), SD YPVDP (2003,2005-2008), SMP VIDATRA (2008-2011), SMA VIDATRA (2011-2014). Pada tahun 2014, penulis diterima sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Tegangan Tinggi periode 2016-2018.

